

Teemu Puustinen

Laskennallinen työkalu kuorma-auton voimalinjan optimointiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto -ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

2.5.2016

Tekijä Otsikko	Teemu Puustinen Laskennallinen työkalu kuorma-auton voimalinjan optimointiin
Sivumäärä Aika	38 sivua 2.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto -ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaajat	Diplomi-insinööri Risto Salminen Tuotekehityspäällikkö Eero Laine (DI)
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli valmistaa Oy Sisu Auto Ab:n myyjille ja suunnittelijoille suunnattu laskentatyökalu kuorma-auton voimalinjan optimointiin. Laskentatyökalulla tuli pystyä vapaasti valitsemaan ajoneuvossa käytetyt voimalinjan komponentit. Valittujen voimalinjan komponenttien perusteella työkalun tuli pystyä tulostamaan myyjien ja suunnittelijoiden tarvitsemia tuloksia ajoneuvojen suorituskyvyn vertailua varten.</p> <p>Insinööritöissä lähdettiin rakentamaan Excel-pohjaista laskentatyökalua, joka tuottaisi valittujen voimalinjan komponenttien perusteella ajotilapiirroksen sekä numeerisen simuloinnin polttoaineenkulutuksesta.</p> <p>Työssä tutkittiin polttoaineenkulutukseen liittyviä jo valmiiksi rakennettuja simulointiohjelmaa. Insinööritöissä esitellään kolme erilaista raskaan kaluston polttoaineenkulutuksen simulointiin rakennettua ohjelmaa. Selvityksen perusteella päätettiin Oy Sisu Auto Ab:n käyttöön hankkia seuraavien vuosien aikana pakolliseksi tyyppihyväksyntätietien osaksi kaavailtu VECTO-simulointiohjelma. VECTO on raskaiden ajoneuvojen polttoaineenkulutuksen ja CO₂ -päästöjen simulointiin tarkoitettu ohjelma.</p> <p>VECTO-simulointiohjelman hankinnan jälkeen tutkittiin sen mahdollisuuksia Oy Sisu Auto AB:n käytössä. Insinööritöissä suoritettiin esimerkki simulointi 76 tonnin ajoneuvoyhdistelmälle. Testikäyttöä varten rakennettiin VECTO:n tarvitsemia syöttöparametreja moottoreista ja vaihteistoista.</p> <p>Insinööritöiden tuloksena syntyi Excel-pohjainen laskentatyökalu ajotilapiirrosten tuottamista varten sekä VECTO-simulointiohjelmaa varten aloituspaketti. Aloituspaketti sisälsi simulointeja varten tarvittavat kartat ja syöttöparametrit kaikista Sisu-siviilikuorma-autoissa käytetyistä moottori- ja vaihteistovaihtoehdoista.</p> <p>Insinööritöistä syntyneiden tulosten avulla Oy Sisu Auto Ab:n myyjien ja suunnittelijoiden on mahdollista optimoida kuorma-auton voimalinja vertailemalla eri voimalinjaratkaisuiden suorituskykyä ajotilapiirrosten ja polttoaineenkulutustietojen perusteella.</p>	
Avainsanat	kuorma-auto, voimalinja, ajotilapiirros, VECTO

Author Title Number of Pages Date	Teemu Puustinen Calculating Tool for Powertrain Optimization in a Commercial Vehicle 38 pages 2 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructors	Risto Salminen, M.Sc. Eero Laine, Product Development Manager, M.Sc.
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to create a calculating tool for Oy Sisu Auto Ab sales and design sections. The thesis was commissioned by Oy Sisu Auto Ab R&D unit, Sisu Engineering Oy.</p> <p>The requirements for the calculating tool were that it should help to optimize commercial vehicle's powertrain by comparing the performance of different powertrain assemblies. The user of the calculating tool must be able to choose freely every component for vehicle's powertrain assembly. On the basis of the chosen components, the tool must provide data that employees in sales and R&D need for comparing different powertrain assemblies.</p> <p>When planning the calculating tool, the objective was to create an Excel-based tool that would provide tractive effort curves and simulation of fuel consumption based on chosen powertrain components.</p> <p>First different ready-made programs for fuel consumption simulation were studied before creating the simulation tool. As a result of the research a simulation program for heavy duty vehicles' fuel consumption and CO₂ emissions called VECTO was found. In the future VECTO will be a mandatory part of heavy duty vehicles' approval. That was the main reason for the decision to gain VECTO for Oy Sisu Auto Ab rather than to create a program to simulate fuel consumptions.</p> <p>As a result of the thesis a calculating tool for creating tractive effort curves for different powertrain assemblies was manufactured. Besides the calculating tool a starter pack for VECTO was created. The starter pack contains engine and gearbox files that VECTO needs for simulation. The files of the starter pack included parameters and maps of all the engines and gearboxes used in Sisu trucks.</p> <p>As a result of this thesis the employees of Oy Sisu Auto Ab sales and R&D are now able to optimize commercial vehicle's powertrain by comparing performance of different powertrain assemblies on the basis of the tractive effort curves and fuel consumption.</p>	
Keywords	commercial vehicle, powertrain, tractive effort curve, VECTO

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	3
2	Teoria	4
2.1	Ajotilapiirros	5
2.1.1	Nousuvastus	5
2.1.2	Vierinvastus	6
2.1.3	Ilmanvastus	7
2.1.4	Vetovoima renkaalla	9
2.2	Polttoaineenkulutus	9
3	Laskentatyökalu	11
3.1	Laskentatyökalun tekeminen	11
3.1.1	Moottori-välilehti	12
3.1.2	Akselisto-välilehti	13
3.1.3	Vaihteisto-välilehti	14
3.1.4	Ajovastukset-välilehti	15
3.1.5	Data-välilehti	16
3.1.6	Ajotilapiirros-välilehdet	17
3.1.7	Painolaskelma-välilehti	18
4	Polttoaineenkulutuksen simulointi	19
4.1	Polttoaineenkulutuksen simulointiohjelmat	19
4.1.1	Fleet Simulator	20
4.1.2	Vemosim	20
4.1.3	VECTO	21
4.2	VECTOn toiminta ja käyttö	21
4.2.1	VECTOn käyttöliittymä pähkinäkuoressa	24
4.2.2	Simulointiin tarvittavat parametrit	27
4.2.3	Simulointi kuvitteelliselle 76 tonnin ajoneuvoyhdistelmälle	31
4.2.4	VECTO aloituspaketin valmistus	34
5	Yhteenveto	35
	Lähteet	37

Lyhenteet

VECTO	Vehicle Energy Consumption Calculation Tool.
DG CLIMA	The Directorate-General for Climate Action. Euroopan komission ilmasto-toimien pääosasto.
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Suomen valtion omistama voittoa ta-voittelematon tutkimusta tekevä organisaatio.
TUG	Graz University of Technology. Itävallassa sijaitseva Grazin teknillinen yli-opisto.
CO ₂	Hiilidioksidi, joka luokitellaan kasvihuonekaasuksi. Syntyy hiiltä sisältävän aineen palaessa.
COST	European Cooperation in Science and Technology. Yksi pitkäaikaisem-mista eurooppalaisista yhteistyöjärjestöistä tieteen ja tutkimuksen saralla.
COST-346	"European Cooperation in Science and Technologyn" projekti: "Raskaiden ajoneuvojen päästöt ja polttoaineenkulutus".
JRC	Joint Research Center. Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, joka toimii teknisissä ja tieteellisissä asioissa neuvonantajana Euroopan komis-siolle ja Euroopan Unionin jäsenmaille.
ISO 28580	ISO-standardi, joka koskee henkilöautojen, linja-autojen ja kuorma-autojen renkaita. Standardi määrittää käytettävät menetelmät renkaan vierinvas-tuskertoimen mittaamiseen ja eri menetelmien vastaavuussuhteen.
RRC	Rolling Resistance Coefficient, Renkaan vierinvastuskerroin.
Fz	RRC-arvon mittaamiseen käytetty nimelliskuorma pystysuunnassa.

1 Johdanto

Insinööritö tehtiin Oy Sisu Auto Ab -konsernille, jonka tytäryhtiöihin lukeutuvat Sisu Auto Trucks Oy, Sisu Engineering Oy ja Sisu Defence Oy. Sisu-kuorma-autojen valmistuksen voi karkeasti jakaa kahteen osa-alueeseen, siviili-kuorma-autot ja erikoisajoneuvot. Autokaupan tämänhetkinen heikko tilanne ja kiristynyt kilpailu näkyvät myös raskaiden hyötyajoneuvojen puolella, jossa Oy Sisu Auto Ab on yksi suurimmista toimijoista Suomessa.

Insinööritön tavoitteena oli tehdä laskentatyökalu, joka edistäisi välillisesti Sisu-kuorma-autojen myyntiä autokaupan kiristyneessä kilpailussa. Insinööritön tavoitetta suunniteltaessa automyyntin edistämistä tarkasteltiin kahdelta eri osa-alueelta, siviiliauto- ja erikoisajoneuvopuolelta.

Siviiliajoneuvopuolella oli tarve laskennalliselle työkalulle, jonka olisi määrä olla tukena neuvotteluissa asiakkaan kanssa tarjoten faktapohjaista tietoa ajoneuvon suorituskyvystä ja polttoaineenkulutuksesta. Työkalulla tulisi pystyä osoittamaan taloudellisia hyötyjä ja perustelemaan sekä vertailemaan voimalinjan komponenttivalintojen vaikutusta kuorma-auton suorituskykyyn ja polttoaineenkulutukseen.

Erikoisajoneuvopuolella oli tarve laskentatyökalulle, joka helpottaisi tarjouslaskennan tekemistä kokoamalla tarvittavat laskelmat samaan taulukkoon. Ennen insinööritön aloittamista kaikki eri tiedot oli koottu tarjouslaskentaa varten erillisistä Excel-taulukoista, jotka olivat suunnittelijoiden itse yhtä ja tiettyä automallia varten tekemiä laskelmia.

Insinööritön tavoitteena oli tehdä laskentatyökalu, joka mahdollistaa kuorma-auton voimalinjan optimoinnin tuottamalla valitun voimalinjaratkaisun pohjalta tulokset ajotilapiirroksen ja polttoaineenkulutustiedon muodossa. Laskentatyökalun oli tarkoitus olla määriteltävissä jokaiselle automallille, nykyisille ja tuleville.

Työn edetessä suunnitelmasta poiketen tehtiin laskentatyökalu, jonka tuloksena syntyy ajotilapiirroksia sekä suoritettiin käyttöönotto uudelle simulointiohjelmalle polttoaineenkulutuksien arviointia varten.

2 Teoria

Tarkasteltaessa kuorma-auton voimalinjan komponenttivalintojen vaikutusta ajoneuvon suorituskykyyn ajotilapiirroksen ja polttoaineenkulutuksen avulla tulee eri ajotilanteissa syntyvät vastusvoimat sekä voimalinjan tuottamat vetovoimat laskea. Jokaisella kuorma-auton voimalinjaan valitulla komponentilla on vaikutus vetovoiman suuruuteen renkaalla sekä eri ajotilanteissa syntyviin vastusvoimiin. Teoreettiset laskelmat kuorma-autojen veto- ja vastusvoimista voivat erota todellisuudesta vaihtelevien olosuhteiden ja päällirakenteiden vuoksi.

Tämän insinööriyön tilaajan määrittelemät kuorma-auton voimalinjan komponentit, joiden vaikutusta ajoneuvon suorituskykyyn halutaan insinööriyön tuloksena pystyä vertailemaan, ovat

- moottorit
- vaihteistot
- jakovaihteistot
- vetopyörästöt.

Moottoreiden tehtävänä on tuottaa vääntömomentti, jota valittujen välityssuhteiden mukaan vaihteistot ja vetopyörästö välittävät vetopyörille. Kuorma-autoissa käytetään vaihteistoina manuaali- ja automaattivaihteistojen lisäksi myös robottivaihteistoiksi kutsuttuja automatisoituja manuaalivaihteistoja.

Jakovaihteisto nimitystä käytetään useissa eri merkityksissä kuorma-autojen vaihteistoihin liittyen. Tässä insinööriyössä jakovaihteistolla tarkoitetaan useimmiten maastoajoneuvoissa käytettyä moottorin jatkeena olevan vaihteiston lisäksi asennettavaa toista vaihteistoa, jonka tehtävänä on suurentaa välityssuhdetta ja jakaa voima taka-akselien lisäksi myös kuorma-auton etuakseleille. Jakovaihteistossa on tavallisesti kaksi välityssuhdetta. Välityssuhteista pienempi on usein 1:1 tai lähellä sitä. Tästä jakovaihteiston pienemmän välityssuhteen alueesta käytetään yleisesti nimeä nopea alue, joka saa nimensä välityssuhteen kyvystä mahdollistaa suuremmat ajonopeudet. Vastaavasti jakovaihteiston suurempi välityssuhde on usein luokkaa 2:1, mikä kaksinkertaistaa vaihteiston välityssuhteen. Yleisesti ajamista jakovaihteiston suuremman välityssuhteen alueella kutsutaan ajamiseksi hitaalla alueella.

2.1 Ajotilapiirros

Ajotilapiirroksella pystytään havainnollistamaan ajoneuvon suorituskyky eri vaihteilla. Ajotilapiirroksen piirtyvät ajoneuvon eri vaihteiden vetovoimat sekä ajoneuvon yhteenlasketut vastusvoimat nopeuden funktiona eri nousuprosenteilla. [1, s. 35–36.]

Vetovoimakäyrät osoittavat ajoneuvon jokaisen vaihteen maksimaalisen vetovoiman koko moottorin kierroslukualueella. Tässä työssä valittiin käytettäväksi kaikista moottoreista kierroslukualuetta 900–2100 kierrosta minuutissa. Ajotilapiirrosten vertailu eri voimalinjaratkaisuilla on helpompaa, kun maksimaalisten vetovoimakuvaajien määrittämiseen käytetty kierroslukualue ei muutu moottoria vaihdettaessa.

Vastusvoimien käyrät osoittavat ajovastusten yhteenlasketun määrän eri nousukulmissa. Ajotilapiirroksen yhteenlaskettuihin vastusvoimiin vaikuttaa nousuvastus, vierinvastus ja ilmanvastus. Ajotilapiirrosta varten ei tarvitse laskea ajoneuvon kiihdyttämisessä syntyvää kiihdytysvastusta.

Ajotilapiirroksen kuvaajista selviää, mitä vaihdetta käytettäessä ja millä ajonopeudella ajettaessa on kyseisellä ajoneuvolla mahdollista nousta tietyn nousuprosentin omaavaa mäkeä. Tietyllä vaihteella vetovoimakäyrän ollessa vastusvoimakäyrän yläpuolella käyrien väliin jäävä alue kuvaa ajoneuvon kykyä kiihdyttää ajonopeutta. Mikäli vetovoimakäyrä on tietyn vastusvoimakäyrän alapuolella, tarkoittaa se, että ajoneuvon voimalinjasta saatava vetovoima ei riitä ylläpitämään kyseistä ajonopeutta ja ajonopeus siten hidastuu.

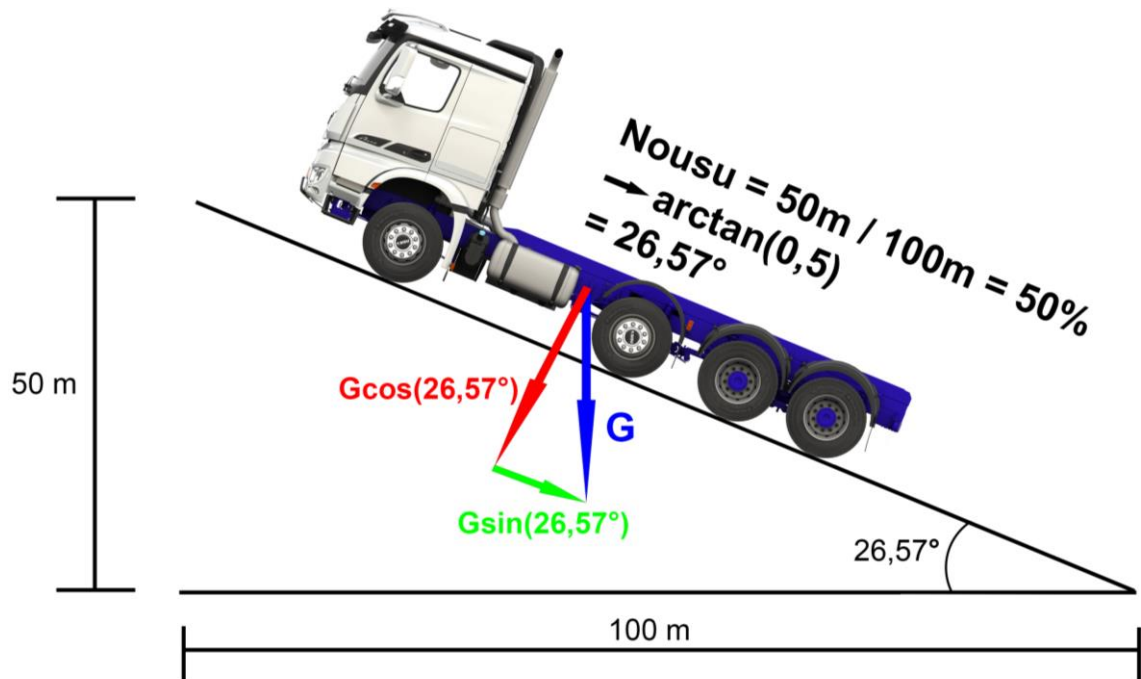
2.1.1 Nousuvastus

Nousuvastukseen vaikuttaa ajoneuvon kokonaismassa ja nousukulma. Nousukulma on esitetty ajotilapiirroksessa prosenteissa, koska myös tiestöissä olevien mäkien jyrkkyys ilmoitetaan prosenteissa. Nousuprosentti lasketaan kuljetun pystysuuntaisen matkan suhteesta kuljettuun vaakasuuntaiseen matkaan. Jos esimerkiksi tie nousee 100 metrin matkalla 50 metriä, niin se vastaa nousuprosenteissa 50 %:a. Ajotilapiirroksessa suurin mahdollinen mäen jyrkkyys on 100 %:n nousu, joka vastaa astelukuina 45⁰:n kulmaa. [1, s. 34–35.]

Mäen nousuprosentin muuttaminen asteiksi tapahtuu kaavalla 1.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\text{Nousuprosentti}}{100}\right) \quad (1)$$

Nousuvastuksen suuruutta kuvaa ajoneuvon painovoimavektorin mäen suuntainen komponentti, joka on havainnollistettu kuvalla 1.



Kuva 1. Havainnollistus ajoneuvon vastusvoimien laskentaan tarvittavista painovoimavektorin mäensuuntaisesta komponentista ja mäkeä vastaan kohtisuorassa olevasta komponentista.

Nousuvastuksen $F_{\text{Nousuvastus}}$ arvo lasketaan kaavan 2 mukaisesti.

$$F_{\text{nousuvastus}} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Kaavaan 2 muuttujan m tilalle sijoitetaan ajoneuvon kokonaismassa kiloina. Kaavan 2 α muuttujan tilalle sijoitetaan kulman asteluku, joka saadaan laskettua kaavan 1 avulla.

2.1.2 Vierinvastus

Vierinvastusvoima kuvastaa ajoneuvon liikettä vastustavaa voimaa, joka aiheutuu ajoneuvon renkaissa syntyvistä muodonmuutoksista ajoneuvon pyörien vieressä. Renkaissa syntyviin muodonmuutoksiin vaikuttaa pyöränkuorma, renkaan kantavuus sekä käytetty rengaspaine.

Vierinvastusvoiman suuruuteen vaikuttaa ajoneuvon kokonaismassa ja vierinvastuskerroin f . Vierinvastuskerroin on yksikötön lukuarvo, joka kuvaa renkaan vierimiskykyä erilaisilla tienpinnoilla. Vierinvastuskertoimen arvoja on havainnollistettu taulukossa 1.

Taulukko 1. Esimerkkejä vierinvastuskertoimista eri tien laaduilla [2, s. 170].

Tien laatu	Vierinvastuskerroin
Hyvä asfaltti	0,007
Märkä asfaltti	0,015
Sileä betoni	0,008
Huonokuntoinen betoni	0,011
Mukulakivi	0,017
Huono tie	0,032
Pehmeä hiekka	0,15 - 0,30
Maa- tai mutapohja	0,15 - 0,94

Tien mahdollisesta nousuprosentista johtuen laskennassa ei käytetä ajoneuvon kokonaismassaa, vaan ajoneuvon painovoimavektorin tienpintaa vastaan kohtisuoraan olevan komponentin suuruutta, mikä on havainnollistettu kuvassa 1. Vierinvastuksen $F_{vierinvastus}$ arvo lasketaan kaavan 3 mukaisesti. [1, s. 35–39.]

$$F_{vierinvastus} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

Kaavaan 3 sijoitetaan f muuttujan tilalle vierinvastuskerroin ja jäljelle jäävien muuttujien tilalle Kaavan 2 tapaan ajoneuvon kokonaismassa ja nousukulma asteina.

2.1.3 Ilmanvastus

Ilmanvastus on ajoneuvon etenemiseen vaikuttavista vastusvoimista voimakkaimmin nopeuden funktiona kasvava voima, sillä ilmanvastus kasvaa nopeuden neliössä. Ilmanvastuksen määrän laskentaan vaikuttavia tekijöitä ovat ajonopeus, ilmanvastuskerroin, ajoneuvon virtauspoikkipinta-ala, tuuli ja tuulen suunta sekä vallitsevan ilman tiheys. [3, s. 435–450.]

Ajoneuvon virtauspoikkipinta-alasta käytetään myös usein nimityksiä otsa- tai naama-pinta-ala. Näillä kaikilla termeillä tarkoitetaan aluetta, joka nähdään katsottaessa ajoneuvoa suoraan edestäpäin. Ajoneuvon virtauspoikkipinta-alaa merkitään kaavassa 4 kirjaimella A .

Ilmanvastuskerroin on yksikötön lukuarvo, mikä kuvaa ajoneuvon muodon virtaviivaisuutta. Ajoneuvojen yksilölliset ilmanvastuskertoimet saadaan mittaamalla tuulitunnelissa. Ilmanvastuskerrointa merkitään kaavassa 4 muuttujalla C_w . [3, s. 435–450.]

Tässä insinöörityössä jätetään ilmanvastusvoiman laskennassa huomioimatta sivu- ja vastatuuli. Ilmanvastusvoima lasketaan kaavan 4 mukaisesti.

$$F_{ilmanvastus} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_w \cdot A \quad (4)$$

Ilmanvastusvoiman laskentaan tarvittava ajoneuvon nopeus lasketaan kaavan 5 avulla.

$$v = \frac{n_{moottori} \cdot 2\pi \cdot r_{dyn}}{60 \cdot i_{kok}} \quad (5)$$

Kaavan 5 muuttujat:

- $n_{moottori}$ on moottorin käyntinopeus yksikössä kierrosta minuutissa
- r_{dyn} on renkaan dynaaminen vierintäsäde yksikössä metri
- i_{kok} on kokonaisvälityssuhde.

Ilmanvastusvoiman suuruus ei ole raskaalla kalustolla yhtä yksiselitteinen, kuin henkilöautoilla. Erilaisista päällirakennetyypeistä johtuen kuorma-autojen ja niistä muodostettavien ajoneuvoyhdistelmien ilmanvastuskertoimet ja otsapinta-alat vaihtelevat merkittävästi. Ilmanvastuskerroin vaihtelee myös osalla ajoneuvoista, vaikka niiden päällirakenne ei muutu. Esimerkiksi puutavara-ajoneuvoyhdistelmän ilmanvastuskerroin kasvaa, kun ajetaan kuormaamattomana [4, s. 1].

Useissa raskaan kaluston päällirakenteissa on paljon pystysuuntaisia palkkeja, joihin sivutuuli aiheuttaa suuria vastusvoimia. Mikäli sivutuulen vaikutus otettaisiin huomioon ilmanvastusvoiman laskennassa, tulisi se myös huomioida vierinvastusvoiman laskennassa. Voimakas sivutuuli johtaa ajoneuvon sortokulmien muuttumiseen, joka taas kasvattaa vierinvastusvoimaa. [5, s. 18.]

2.1.4 Vetovoima renkaalla

Ajoneuvon voimalinjan tuottaman vetovoiman vetopyörillä tulee olla yhteen laskettuja vastusvoimia suurempi tai yhtä suuri, jotta ajoneuvon nopeus pysyy vakiona tai kasvaa. Ajotilapiirroksessa eri vaihteilla saavutettujen vetovoimien suuruuteen renkaalla vaikuttaa moottorin tuottama vääntömomentti, rengaskoko ja vaihteistojen sekä vetopyörästön välityssuhteet. Kuorma-autojen vetovoiman suuruuteen renkaalla vaikuttaa suurilla välityssuhteilla myös voimansiirron vääntömomentin siirtokyky. Usein kuorma-autojen moottorin tuottamaa vääntömomenttia joudutaan rajoittamaan vaihteiston pienimmillä vaihteilla, jotta vaihteiston, nivelakseleiden tai vetopyörästön momentin siirtokykyä ei ylitetä.

Redusoitu vääntömomenttiarvo tarvitaan laskettaessa vetovoimaa vetopyörillä. Redusoitu vääntömomenttiarvo saadaan laskettua, kun moottorin tuottamasta vääntömomentista vähennetään häviöt.

Ajoneuvon voimalinjan läpi kulkeutuva vääntömomentti muuntuu vetovoimaksi, kun vääntömomenttiarvo jaetaan vetävillä pyörillä käytettävän renkaan dynaamisella säteellä. [1, s. 35.] Vetovoima lasketaan kaavalla 6.

$$F_{\text{vetovoimarenkaalla}} = \frac{M_{\text{red}} \cdot i_{\text{kok}}}{r_{\text{dyn}}} \quad (6)$$

Kaavassa 6 redusoitua vääntömomenttia merkitään muuttujalla M_{red} .

2.2 Polttoaineenkulutus

Ajoneuvon polttoaineenkulutukseen vaikuttaa eri ajotilanteissa syntyvät yhteenlasketut vastusvoimat ja niiden voittamiseen tarvittavan vetovoiman suuruus. Hetkellinen poltto-

aineenkulutus FC on mahdollista laskea, kun on tiedossa hetkellinen moottorin kuormitusaste ja sitä vastaava moottorin ominaiskulutuskartasta saatu arvo ominaiskulutukselle be .

Ominaiskulutuskartasta saatu arvo hetkelliselle polttoaineenkulutukselle on yksikössä g/kWh. Kaavan 7 mukaisesti hetkellinen polttoaineenkulutuksen arvo saadaan muutettua yksikköön g/h kertomalla sen hetkellä moottoriteholla.

$$FC = be \cdot P \quad (7)$$

Kaavaan 7 sijoitetaan muuttujan P paikalle tehon laskentakaava:

$$P = M \cdot n_{moottori} \cdot \frac{\pi}{30} \quad (8)$$

Ennen sijoitusta tulee tehon arvo muuntaa yksiköstä W yksikköön kW jakamalla tuhannella. Kaava 7 sieventyy lopulta muotoon:

$$FC = be \cdot M \cdot n_{moottori} \cdot \frac{\pi}{30000} \quad (9)$$

Kaavan 9 muuttujan be tilalle sijoitetaan ominaiskulutusarvo yksikössä g/kWh, $n_{moottori}$ -muuttujan tilalle valitun pisteen kierrosnopeus yksikössä kierrosta minuutissa ja M -muuttujan tilalle valitun pisteen moottorin vääntömomentti yksikössä Nm. Kaavasta 9 saadaan polttoaineenkulutukselle arvo yksikössä g/h. Polttoaineenkulutuksen arvo voidaan g/h muodosta muuntaa tunnetumpaan yksikköön l/h, kun tiedetään käytetyn polttoaineen tiheys.

3 Laskentatyökalu

Laskentatyökalun suunnittelu alkoi sen käyttötarpeiden ja käyttötavan määrittelyllä. Laskentatyökalun oli määrä tulla käytettäväksi Sisu Engineering Oy:n suunnittelijoille ja Sisu Auto Trucks Oy:n tuotepäällikön välityksellä kuorma-automyyjille.

Monien eri käyttäjien takia laskentatyökalun tulisi olla helppo, selkeä, yksiselitteinen ja yksinkertainen käyttää. Lisäksi työkalun käyttämiseen ei tulisi tarvita mitään erillistä tietokoneohjelmaa, jotta jokainen kykenisi käyttämään sitä omalla työtietokoneellaan.

Laskenta-alustaksi valittiin Microsoft Excel 2016, koska Excelillä on helppo luoda monimutkaistakin laskentaa ja siistiä ulkonäköä ilman koodaamista. Excelin etuuksia ovat myös sen löytyminen, jokaiselta insinööriön tilaajayrityksen tietokoneelta sekä sen helppokäyttöisyys. Laskentatyökalun tuloksia oli myös pystyttävä tulostamaan paperiseksi versioksi, mihin Excel myös soveltuu erinomaisesti.

Ongelman ratkaisuksi lähdettiin kehittämään Excel-pohjaista laskentatyökalua, joka tarjoaisi siviili- ja erikoisajoneuvopuolella havaituille ongelmille ratkaisun samassa pake-tissa. Laskentatyökalun tulisi sisältää suurimmaksi osaksi kaikki tiedot, joita erikoisajo-neuvopuolen tarjouslaskentaan tarvitaan. Työkalulla pystyisi määrittelemään kuorma-autoon halutun akselirakenteen, moottorin, voimansiirron ja renkaat. Työkalu tulostaisi annetuilla arvoilla ajoneuvosta ajotilapiirroksen, painojakaumalaskelman ja polttoaineku-lutustietoa halutulla ajosyklillä. Näin ollen laskentatyökalu tarjoaisi myös siviilipuolella kaivattua faktatietoa komponenttivalintojen vaikutuksesta ajoneuvon suorituskykyyn.

Laskentatyökalusta tulisi olla helppo tulostaa paperiset ja selkeälukuiset ajotilapiirrokset ja painolaskelmat. Ajotilapiirroksessa tulisi olla nähtävillä veto- ja vastusvoimien lisäksi myös ajoneuvon rakenteelliset tiedot, kuten käytetty moottori ja vaihteisto.

3.1 Laskentatyökalun tekeminen

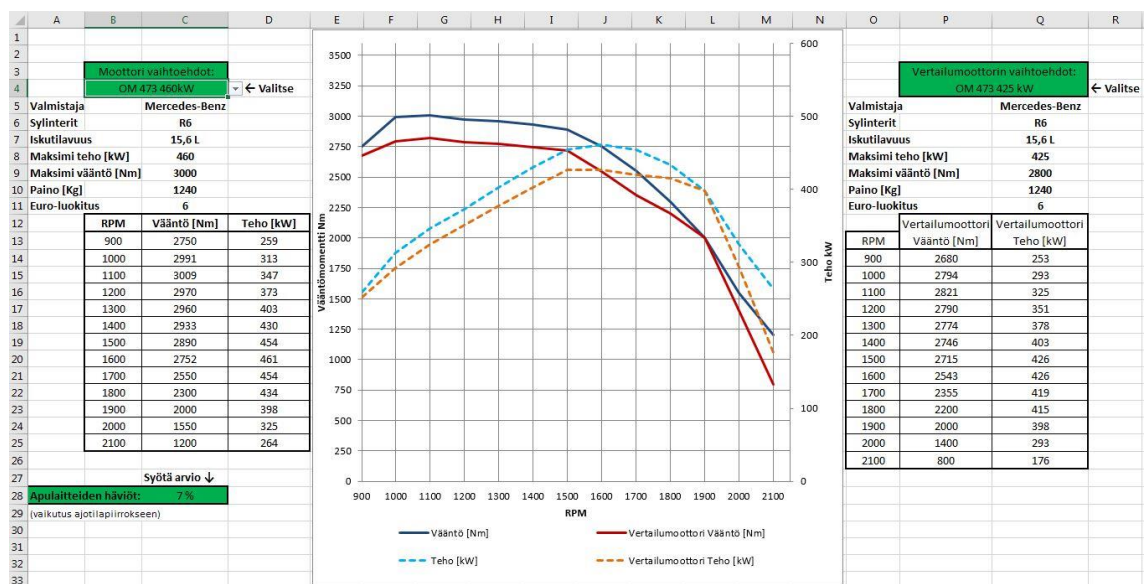
Excel-taulukko tuli hahmotella ulkoasultaan selkeäksi, joten päätettiin tehdä omat väli-lehdet moottorille, akselistolle, vaihteistolle, ajovastuksille, painolaskelmalle, nopean alu-

een ajotilapiirrokselle, hitaan alueen ajotilapiirrokselle ja laskennan lähtöarvoille. Välilehdillä valittujen tietojen perusteella data-välilehdellä suoritettiin ajotilapiirrokseen tarvittava laskenta luvussa 2 olevien kaavojen perusteella.

Laskennan kaavoissa sovellettiin Excelin PHAKU-funktiota ja VHAKU-funktiota esikerätyistä arvoista käyttäen hakuarvona esimerkiksi moottorityyppiä. Välilehtien piiloutuvat solut toteutettiin JOS-funktion ja Excelin ehdollisen muotoilun avulla.

3.1.1 Moottori-välilehti

Moottori-välilehdelle tehtiin pudotusvalikko, josta käyttäjä saa valita halutun moottorin. Pudotusvalikko tehtiin Excelin "Tietojen kelpoisuuden tarkistaminen" -työkalulla. Moottorivaihtoehtoihin koottiin kaikki Sisu-kuorma-autoissa käytetyt Mercedes-Benzin valmistamat moottorit, joita on neljä eri tehovaihtoehtoa 12,8 litran iskutilavuuden omaavissa moottoreissa ja kolme 15,6-litraisissa. Moottori-välilehden ominaisuudet asettelun ja ulkoasuun suhteen on tarkemmin nähtävissä kuvasta 2.



Kuva 2. Moottori-välilehti valmiina.

Jotta vertailumahdollisuuksia saatiin lisättyä, vaihtoehtoihin lisättiin myös suurimpien kilpailijoiden Volvon ja Scanian moottorivalikoimista moottoreita. Volvolla ja Scaniaalta moottorivaihtoehtoihin sisällytettiin molemmilta yksi noin 13 litran iskutilavuuden omaava moottori ja yksi noin 16 litran iskutilavuuden omaava.

Kun laskentatyökalun käyttäjä valitsee moottorivaihtoehdon, taulukkoon tulee näkyville valitun moottorin teho- ja vääntötiedot numeerisena sekä kuvaajana. Välilehden toiseen reunaan tehtiin samanlainen pudotusvalikko, josta käyttäjä saa valittua toisen moottorin verratakseen kahta moottoria samanaikaisesti teho- ja vääntökuvaajassa.

Moottori-välilehdelle tehtiin myös sarake, johon käyttäjä saa syötettyä prosentuaalisen arvion apulaitteiden synnyttämistä häviöistä. Arviota apulaitteiden synnyttämistä häviöistä tarvitaan laskettaessa redusoitua vääntömomenttia ajotilapiirrosta varten.

3.1.2 Akselisto-välilehti

Akselisto-välilehdelle tehtiin kolme pudotusvalikkoa, joista käyttäjä valitsee ajoneuvon akseleiden lukumäärän, vetotavan ja alustarakenteen. Valinnat tehtyään taulukkoon tulee näkyviin, jokaisen akselin tyyppi, mallimerkintä, suurin sallittu massa, jarrutyyppi, kuivapaino ja mikäli akseli on ohjaava niin ohjauskulma. Kuvasta 3 on nähtävissä akselisto-välilehden ulkoasu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Valitse ↓						
2			Akseleiden lukumäärä:	4						
3			Vetotapa:	8x4						
4			Alustarakenne:	Ohjaava taka-akseli						
5										
6										
7			Akselityyppi	Mallimerkintä	Suurin sallittu massa [Kg]	Jarrutyyppi	Kuivapaino [Kg]	Ohjaa	Kääntö kulma	
9		1	Etuakseli	FSND10P	10000	Levyjarrut	510	Kyllä	46	
10		2	Vetävä akseli	FRDP13/16S	16000	Rumpujarrut S-nokka	800	Ei		
11		3	Vetävä teli	FR2P26/32S	16000	Rumpujarrut S-nokka	900	Ei		
12		4	Ohjaava taka-akseli	FSND08S Rear	8000	Rumpujarrut S-nokka	473	Kyllä	24	
13										
14										
15										
16			Ylläolevasta konfiguraattorista ei löytynyt haluamaani alustarakennetta.				Valitse ↓			
17			Haluan itse määrittää akselityypit erikseen jokaiselle akselille:				Ei			

Kuva 3. Akselisto-välilehti valmiina.

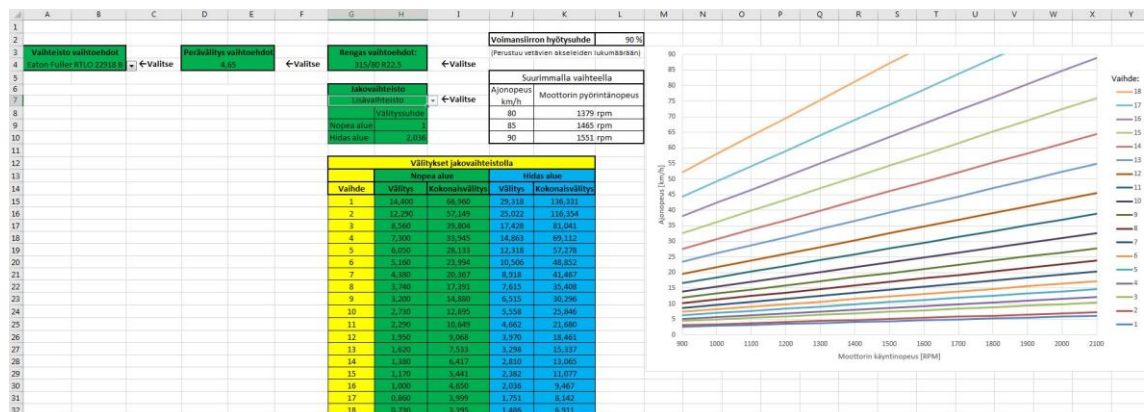
On myös mahdollista, että laskentatyökalun käyttäjä haluaa esiasetetuista akselirakenteista poiketen esimerkiksi kantavuudeltaan suurempia akseleita telissä. Tästä syystä työkaluun tehtiin valinta jolla käyttäjä saa itse määrittää jokaisen akselityypin itse. Mikäli käyttäjä valitsee mahdollisuuden valita itse koko akselistoraketeen, laskentatyökalu piilottaa välilehden yläosan, jossa akselit valitaan esiasetettujen muuttujien perusteella.

Työkalun tarjoama akselivalikoima on koottu kaikista Sisu Axles Inc:n eli entisen Sisu Akselit Oy:n valmistamista akseleista, joita Oy Sisu Auto Ab:n ajoneuvoprojekteissa on käytetty tai voidaan jatkossa tulla käyttämään. Akselisto-välilehdellä valittujen akselityyppien perusteella laskenta työkalu kykenee tarjoamaan oikeat perävälityksen vaihtoehdot vaihteisto-välilehdellä.

3.1.3 Vaihteisto-välilehti

Vaihteisto-välilehdelle tehtiin pudotusvalikkoja, joista käyttäjä saa valittua käytettävän vaihteiston, perävälityksen, jakovaihteiston ja renkaat. Vaihteistovaihtoehdoista löytyy kaikki Sisu-kuorma-autoissa käytetyt vaihteistot sekä muutama kilpailevan valmistajan vaihteisto. Välilehdellä tarjolla olevat perävälityksen vaihtoehdot määräytyvät edellisellä akselisto-välilehdellä valittujen vetävien akselien perusteella.

Kuvassa 4 nähdään vaihteisto-välilehdelle tehtyjen valintojen perusteella piirtyvä kaavio, jossa on kuvaajat kaikilla vaihteilla saavutetuista ajonopeuksista moottorin kierrosluvun funktiona. Laskentatyökalun käyttäjälle on kuvaajasta nähtävillä esimerkiksi millä perävälityksellä saavutetaan haluttu moottorin käyntinopeus, kun ajoneuvolla ajetaan 80 km/h.



Kuva 4. Vaihteisto-välilehti valmiina.

Renkaiden valinta sijoitettiin vaihteisto-välilehdelle, jotta käyttäjä pystyy havaitsemaan vaihteisto-välilehdellä olevan kuvaajan muutoksen rengaskokoa muuttaessaan. Rengasvaihtoehtoihin koottiin yhdeksän yleisimmin vetoakselilla tieliikenteessä käytettyä rengaskokoa sekä kaksi yleisimmin maastoajoneuvoissa vetoakselilla käytettyä rengas-

kokoa. Kaikkiinsa rengaskokoihin listattiin myös tiedot niiden dynaamisen kehän pituudesta niiden maksimikantavuudella. Tiedot renkaiden dynaamisen kehän pituudesta ovat olennaisia laskennassa ajotilapiirrosta varten.

3.1.4 Ajovastukset-välilehti

Ajovastukset-välilehdelle koottiin kaikki ajotilapiirroksen laskentaan vaikuttavat vastusvoimat: nousuvastus, ilmanvastus ja vierinvastus. Ajovastukset-välilehdelle laskentatyökalun käyttäjää varten tehtiin kaksi kenttää, joihin tulee syöttää tiedot kuorma-auton ja perävaunun kokonaismassoista. Laskentatyökalu tarvitsee tiedot kokonaismassoista nousuvastuksen ja vierinvastuksen laskentaan. Ilmanvastuksen laskentaan vaadittavat tiedot ilmanvastuskertoimesta, ajoneuvon virtauspoikkipinta-alasta ja vallitsevan ilman tiheydestä tulee käyttäjän syöttää niille luotuihin kenttiin. Kuvasta 5 nähdään ajovastukset-välilehden asettelu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															

Kuva 5. Ajovastukset-välilehti valmiina.

Tuulen nopeus ja suunta jätettiin laskentatyökalussa huomioimatta, koska niiden vaikutus ilmanvastukseen muuttuu ajoneuvon päällirakenteen mukaan, joihin laskentatyökalu ei ota mitenkään kantaa. Tuulen nopeuden ja suunnan huomiotta jättäminen tekee laskennasta myös yksinkertaisempaa ja vähentää käyttäjän syöttämien tietojen määrää. Kun

laskennassa olevia muuttujia on rajallisesti, helpottaa se myös työkalulla laskettujen ajoneuvojen vertailua toisiinsa.

Välilehdelle koottiin laskentatyökalun käyttäjää varten taulukko, jossa on laskettu esimerkiksi siviilipuolella käytössä olevien eri ohjaamovaihtoehtojen virtauspoikkipinta-alojen arvoja. Vierinvastuksen laskentaan ajoneuvon massan lisäksi vaikuttava vierinvastuskerroin tulee myös laskentatyökalun käyttäjän itse syöttää niille määritettyihin kenttiin. Vierinvastuksen syöttösarakkeen viereen koottiin pieni taulukko, jossa on esimerkkejä vierinvastuskertoimista eri tien pinnoilla.

Ajovastukset-välilehdelle tehtiin myös käyttäjän näkyville nousu- ja ilmanvastusvoimien muutokset erikseen sekä iso taulukko, jossa on näkyvillä kokonaisvastusvoimat eri nousuprosenteilla ajonopeuden funktiona.

3.1.5 Data-välilehti

Laskentatyökaluun tehtiin data-välilehti, jonne koottiin kaikki tiedot joita muut välilehdet tarvitsevat tulostusta tai pudotusvalikoita varten. Välilehti sisältää esimerkiksi jokaisesta moottori-välilehdelle tulostuvasta moottorista tiedot vääntömomentista, valmistajasta, iskutilavuudesta, euroluokituksesta ja kuivapainosta.

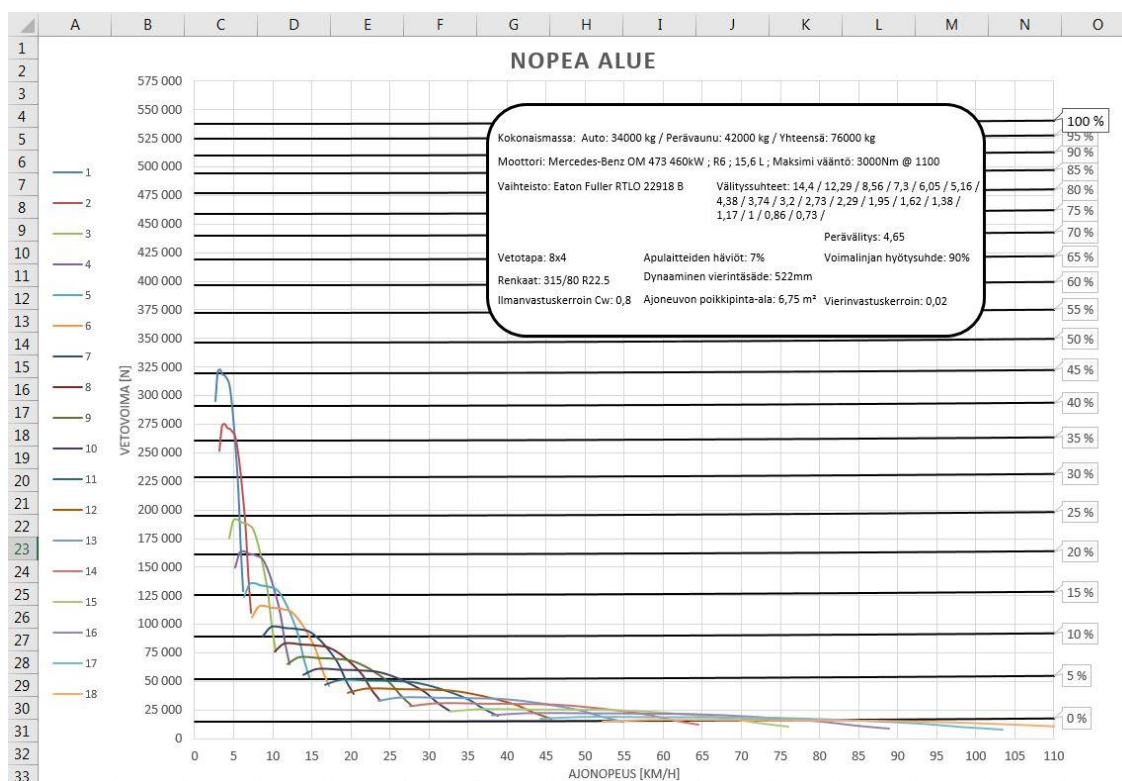
Data-välilehden ansiosta muiden välilehtien näkymä saatiin pidettyä yksinkertaisena ja siistinä. Data-välilehden tiedot koottiin järkevään järjestykseen, jotta myös mahdollisten uusien vaihteistojen tai moottoreiden lisääminen laskentatyökaluun oli mahdollista. Välilehden tiedot järjestettiin siten, että tarvittaessa muutkin ovat kykeneviä muokkaamaan laskentatyökalua ja ymmärtämään sen pohjalla olevan laskennan, kuin vain sen alkuperäinen tekijä.

Kun Data-välilehden tiedot oli järjestetty asiayhteyden perusteella järkevään järjestykseen, rajattiin ne alueittain reunaviivoilla ja nimettiin. Välilehdelle lisättiin selittävää tekstiä ja tyhjiä sarakkeita, jotta uusien komponenttien tietojen lisääminen olisi yksinkertaisempaa.

3.1.6 Ajotilapiirros-välilehdet

Ajotilapiirroksille tehtiin kaksi välilehteä, nopean alueen ja hitaan alueen ajotilapiirroksille molemmille omansa. Ajotilapiirotukset muodostuvat laskentatyökalun käyttäjän edellisillä välilehdillä tekemien komponenttivalintojen perusteella. Tehdyistä valinnoista kopioituu tieto data-välilehdelle, jossa tapahtuu laskenta ajotilapiirrosta varten. Ajotilapiirros-välilehtien kuvaajien tarvitsemat vetovoiman ja ajonopeuden arvot hakeutuvat automaattisesti data-välilehdeltä.

Ajotilapiirros-välilehdillä olevissa ajotilapiirroksissa on nähtävillä myös aiemmilla välilehdillä valittujen voimansiirtolinjan komponenttien tiedot sekä ajovastuksiin vaikuttavat arvot. Kuvassa 6 on esimerkki ajotilapiirros-välilehdelle piirtyvän ajotilapiirroksen ulkoasusta.



Kuva 6. Nopean-alueen ajotilapiirros-välilehti valmiina.

Välilehdillä olevat ajotilapiirotukset aseteltiin ja muotoiltiin niin, että tulostettaessa vaaka-suuntaisesti ajotilapiirros mahtuu A4-kokoiselle paperille. Onnistuneen muotoilun tavoite oli myös saada käyrät sekä tekstit helposti luettavaksi tulosteesta sekä tietokoneen näytöltä.

3.1.7 Painolaskelma-välilehti

Painolaskelma-välilehti tehtiin, koska ajoneuvoista halutaan tarjouspyynnöissä tietää, kuinka suuri massaltaan on ajoneuvon kuormankantokyky. Painolaskelma-välilehdelle tehtiin kuormankantokyvyn lisäksi laskelmat ajoneuvon akseliakohtaisista painojakaumista kuormattuna ja kuormaamattomana. Painolaskelma-välilehden ominaisuudet asettelun ja ulkoasun suhteen ovat nähtävissä kuvassa 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2				Akselimassat kuormaamaton ajoneuvo									
3													
4				Akseli	Akselimassa	Painojakauma							
5				1	3500 kg	24 %							
6				2	4000 kg	28 %							
7				3	4000 kg	28 %							
8				4	3000 kg	21 %							
9													
10													
11				Kokonaismassa		14500 kg							
12													
13													
14													
15				Kuorma, jolla saadaan suurimmat tieliikenteessä sallitut akselimassat									
16				Akseli	Suurin sallittu akselimassa tieliikenteessä	Painojakauma							
17													
18				1	8000 kg	24 %							
19				2	9500 kg	28 %							
20				3	9500 kg	28 %							
21				4	7000 kg	21 %							
22													
23													
24				Kokonaismassa		34000 kg							
25				Maksimi kuorma		19500 kg							
26													
27													
28													
29				Kuorma, jolla saadaan suurimmat sallitut tekniset akselimassat									
30				Akseli	Suurin sallittu tekninen akselimassa	Painojakauma							
31													
32				1	10000 kg	20 %							
33				2	16000 kg	32 %							
34				3	16000 kg	32 %							
35				4	8000 kg	16 %							
36													
37													
38				Kokonaismassa:		50000 kg							
39				Maksimi kuorma:		35500 kg							

← Syötä lukuarvo massa kenttään
 ← Syötä lukuarvo massa kenttään
 ← Syötä lukuarvo massa kenttään
 ← Syötä lukuarvo massa kenttään

← Syötä lukuarvo massa kenttään
 ← Syötä lukuarvo massa kenttään
 ← Syötä lukuarvo massa kenttään
 ← Syötä lukuarvo massa kenttään

Kuva 7. Painolaskelma-välilehti valmiina.

Laskentatyökalun käyttäjän tulee itse syöttää kuormaamattoman ajoneuvon akselimassat sekä suurimmat tieliikenteessä sallitut akselimassat. Laskentatyökalu hakee automaattisesti akselisto -välilehdellä valitun akselistorakenteen perusteella painolaskelma-

välilehden taulukoihin oikean akselimäärän ja suurimmat sallitut tekniset akselimassat sekä suorittaa tarvittavat laskelmat. Välilehden laskelmien avulla saadaan tietää, mikä on ajoneuvolla saavutettu kuormankantokyky tieliikenteessä ja teknisesti suurimpien sallittujen akselimassojen rajoissa.

4 Polttoaineenkulutuksen simulointi

Polttoaineenkulutuksen simulointi oli tarkoitus toteuttaa jatkojalostamalla laskentatyökalua ja sen ajotilapiirroksia varten koottuja vetovoiman ja ajonopeuden arvoja. Toteutus tapahtuisi yksinkertaisimmillaan numeerisena simulointina Excelissä.

Kuorma-autoja tilaavia asiakkaita kiinnostaa moottorin ominaiskulutuskartasta saatavan hetkellisen kulutuksen sijaan keskimääräiset polttoaineenkulutustiedot tietynlaisella ajosyklillä. Oy Sisu Auto Ab:lta on pyydetty ja tullaan jatkossa myös pyytämään tarjouksia autoista, missä eritellään vain esimerkiksi tunnelista siirrettävän kivimassan määrä vuorokaudessa. Näin ollen automyyjän on pystyttävä määrittelemään, montako kuorma-auto asiakas tarvitsee työn suorittamiseen ja paljonko päiväkohtainen polttoaineenkulutus on tarvittavilla ajoneuvoilla. Laskentatyökaluun tulisi siis pystyä määrittämään ajosykli erilaisilla ajoneuvon kuormitustiloilla sisältäen lastauksia tai purkuja sekä ajoa erilaisissa maasto-olosuhteissa.

4.1 Polttoaineenkulutuksen simulointiohjelmat

Polttoaineenkulutussimulaatiota suunnitellessa lähdettiin ensin tutkimaan, onko maailmalla olemassa valmiita vastaaviin raskaan kaluston laskentoihin perustuvia simulaatio-ohjelmia, kuinka ne toimivat, olisivatko ne helposti saatavilla Oy Sisu Auto Ab:n käyttöön ja soveltuisivatko ne insinööriyön tilaajan käyttötarkoitukseen.

Vastaavan kaltaisia polttoaineenkulutuksen simulointiin kehitettyjä ohjelmia löytyi yllättävän paljon. Tässä luvussa niistä esitellään kolme mielenkiintoisinta ja parhaiten raskaan kaluston eri käyttötarpeisiin sovellettavaa ohjelmistoa.

4.1.1 Fleet Simulator

Irlantilainen TruckScience yritys kehittää ohjelmistoja kuljetusyritysten tarpeisiin. Yritykseltä löytyy kuljetusyrityksiä ja kuorma-automyyjä varten luotu ohjelma nimeltä Fleet Simulator. Fleet Simulator -ohjelmaan käyttäjä määrittelee yrityksen käyttämät ajoneuvot ja niiden tekniset tiedot. Simulointia varten valitaan haluttu ajoreitti ja tieto ajoneuvossa olevasta kuormasta. Ohjelma pystyy simuloinnin perusteella kertomaan, kuinka paljon kyseinen ajoneuvo kuluttaa polttoainetta reitin ajamiseen.

TruckScience järjestää vuosittain Truck Test -nimisen testitapahtuman, jossa eri kuorma-autovalmistajien autoilla testataan kuorma-autoiluun liittyviä asioita. Vuonna 2015 Etelä-Afrikassa järjestetyssä Truck Testissä 11:n eri kuorma-autovalmistajan kuorma-autoilla ajettiin 1000 kilometrin testiajo. Testissä kuorma-autoilla vedettiin samanlaisia perävaunuja, jotka olivat lastattu yhtä painavilla kuormilla. Sama 1000 kilometrin tieosuus simuloitiin testissä olevien kuorma-autojen tiedoilla käyttäen Fleet Simulator -ohjelmaan. Testin perusteella Fleet Simulatorilla simuloidut polttoaineenkulutukset erosivat todellisista polttoaineenkulutuksista maksimissaan neljä prosenttia. [6, s. 1.]

4.1.2 Vemosim

Vemosim Oy on tutkimus- ja selvityshankkeita tuottava yritys, jonka tutkimus- ja selvitysmenetelmät pohjautuvat ajoneuvosimulointeihin [7]. Vemosim Oy:n käyttämä simulointiohjelma Vemosim on diplomi-insinööri Olavi H. Koskisen kehittämä ohjelmisto, jota voidaan hyödyntää lukuisissa eri ajoneuvo- ja kuljetustekniikan sovellutuksissa. Vemosim-simulointiohjelmassa on myös tähän insinööritoimintaan liittyvä sovellus, jolla pystytään simuloimaan eri ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien liiketilat ja energiankulutus erilaisissa tieoloissa.

Olavi H. Koskinen on kehittänyt Vemosim-simulointiohjelman osa-aluetta raskaiden ajoneuvojen polttoaineenkulutuksen simulointiin jo 90-luvulla. Vemosimin pohjalta Suomen aloitteesta vuoden 1999 lopulla käynnistettiin COST-346-projekti ”Raskaiden ajoneuvojen päästöt ja polttoaineenkulutus”. Vemosim tarvitsee lähtötiedoiksi moottorikartat, ajoneuvon tekniset tiedot, tiedot käytetystä tieprofiilista ja ajotapatiedot. Vemosimillä saisi tuotettua simuloimalla ajosuorituksen lähtötietojen perusteella tämän insinööritoiminnan tilaajayritystä kiinnostavia tuloksia polttoaineenkulutuksesta hetkellisenä, kumulatiivisena ja keskiarvona. [8; 9.]

4.1.3 VECTO

VECTO (Vehicle Energy Consumption Calculation Tool) on Euroopan komission tuottama simulointiohjelma kokonaisen ajoneuvon polttoaineenkulutuksen ja CO₂-päästöjen laskentaan, jonka on tarkoitus tulla lähitulevaisuudessa pakolliseksi tyyppihyväksyntävaatimukseksi. Pakollisuus tyyppihyväksyntävaatimuksissa tarkoittaa samalla myös ohjelman tulemistä pakolliseksi välineeksi ajoneuvovalmistajille.

VECTO valikoitui edellä mainittujen syiden perusteella tarkemman selvitystyön alaiseksi. Ohjelman saaminen tässä vaiheessa Oy Sisu Auto Ab:n käyttöön mahdollistaisi VECTOn tutustumisen ennen sen tuloa pakolliseksi vaatimukseksi. VECTOn saamisesta insinöörityön tilaajan käyttöön saataisiin myös huomattavaa hyötyä ajatellen aiemmin määriteltyjä tarpeita polttoaineenkulutuksen simuloinnista. VECTO mahdollistaisi myös Oy Sisu Auto Ab:n omien resurssien säästön, kun tällaisen ohjelman valmistamiseen ei tarvitsisi käyttää omaa henkilöstöä. Seuraavassa luvussa tarkastellaan VECTO-ohjelman toimintaa ja käyttöä. [10.]

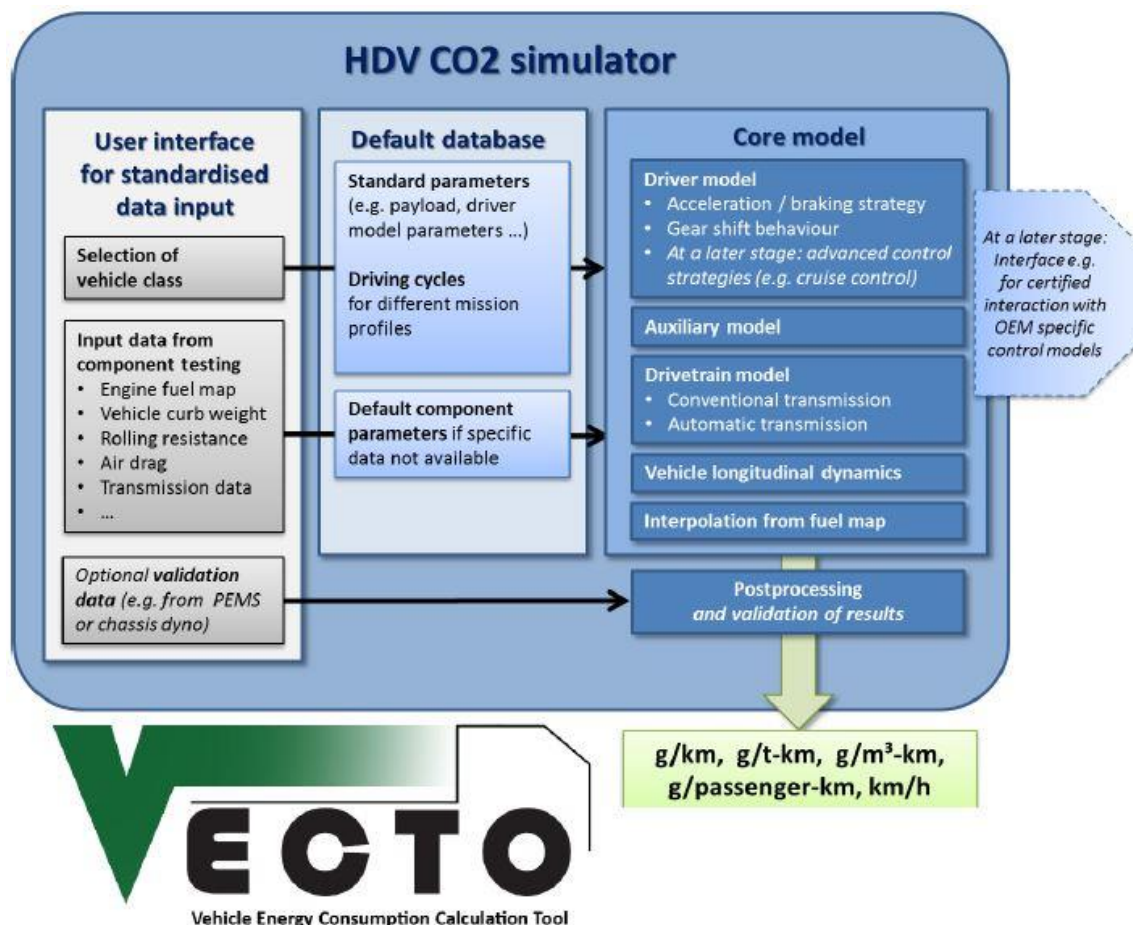
4.2 VECTOn toiminta ja käyttö

VECTO on Euroopan komission tuottama simulointiohjelma kokonaisen ajoneuvon polttoaineenkulutuksen ja CO₂-päästöjen laskentaan. VECTO-projektista vastaa Euroopan komission ilmastotoimien pääosasto DG CLIMA.

VECTO-simulointiohjelman kehitys juontaa juurensa välillisesti Suomeen ja luvussa 4.1 sivulla 16 esitellyn VEMOSIM-simulointiohjelmaan. VECTOn kehittämisen pohjalla on COST-346-projektissa saadut tulokset ja Euroopan komissiolle tehty ehdotus EU-lainsäädännön kehittämiseksi. Simulointiohjelman teknisestä kehityksestä vastaa myös COST-järjestöön kuuluva ja COST-346-projektissa vahvasti mukana ollut itävaltalainen Grazin teknillinen yliopisto (TUG). [9; 11.]

Tällä hetkellä kuorma-autojen päästöt mitataan tyyppihyväksyntätesteissä pelkästä moottorista. Pelkästä moottorista tehtävät kulutus- ja päästöttestit eivät anna realistista kuvaa ajon aikana syntyvistä päästöistä. VECTO-ohjelman kehityksen taustalla oleva pääsyy on saada tietoa kokonaisten kuorma-autojen ja ajoneuvoyhdistelmien CO₂-päästöistä ajon aikana. Käytännössä jokainen valmistettu kuorma-auto eroaa jotenkin muista

valmistetuista, joten on todella kallista ja käytännössä mahdotonta mitata jokaisesta valmistetusta ajoneuvosta erikseen päästöt ajon aikana. VECTO-simulointiohjelman tavoite on 95 %:n simulointitarkkuus todelliseen polttoaineenkulutukseen verrattuna. VECTO:n toimintaperiaate on havainnollistettu kuvan 8 prosessikaaviossa, josta on nähtävillä VECTO:n tiedonkulku ja saatavat tulokset. [10.]



Kuva 8. VECTO:n prosessikaavio [10, s. 15].

Vuonna 2013 Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus JRC teki tutkimuksen VECTO-ohjelmasta yhteistyössä TUG:n ja kolmen eurooppalaisen kuorma-autovalmistajan kanssa. Tutkimuksessa testattiin tien päällä eri kuorma-autojen ja ajoneuvoyhdistelmien polttoaineenkulutuksia ja verrattiin niitä VECTO-simulointiohjelmalla saatuihin tuloksiin. Tutkimuksen lopputuloksena oli VECTO:n maksimissaan ± 10 %:n ero tien päällä mitattuihin arvoihin riippuen mittauksesta. [12.]

Viimeisimpien tietojen mukaan VECTO-ohjelman on tarkoitus tulla pakolliseksi autovalmistajien ja niiden edustajien sekä tyyppihyväksyntäviranomaisten käyttöön. Tällä hetkellä ohjelmaa kehitetään testikäytössä havaittujen puutteiden ja virheiden korjaamiseksi. Testikäyttäjinä toimivat maailman suurimmat kuorma-autovalmistajat, komponenttivalmistajat ja muutama kansainvälisesti tunnettu yliopisto. Tämänhetkisessä VECTO:n kehitysvaiheessa kuorma-autovalmistajien ja komponenttivalmistajien tehtävänä on tuottaa simulointien tarvitsemia lähtöarvoja ja parametreja.

Ohjelman valmiissa versiossa tyyppihyväksyntäviranomaisen ei tarvitse syöttää esimerkiksi moottorin ominaiskulutuskartastoja, vaan vain valita käytettävä moottori. Lähtöarvojen ja parametrien tuottaminen ohjelmaan on itsessään helppoa, koska komponentti- ja ajoneuvovalmistajilla on olemassa tuloksia tyyppihyväksyntätesteistä, laboratoriomittauksista ja tien päällä tehdyistä mittauksista. Suurin ongelma on, kuinka lähtöarvot ja parametrit saadaan ohjelman käyttöön turvallisesti niiden päätyttyä vääriin käsiin. Teknisten tietojen komponenteista tulee olla ohjelmassa salattuna, jotta esimerkiksi kilpailevat moottorivalmistajat eivät pääse tutkimaan toistensa moottoreiden ominaiskulutustietoja.

Vuoden 2011 syksyllä TUG:ssä pidetyssä IT-asiantuntijoiden kokouksesta julkaistuista materiaaleista käy ilmi, että kehitteillä on sormenjälkivarmennus, jolla tunnistetaan käyttäjä. Kun käyttäjä on tunnistettu, sallitaan juuri hänelle sopivat oikeudet tiettyihin tiedostoihin. Pääsy oikeisiin tietoihin riippuu käyttäjästä, onko hän esimerkiksi moottorivalmistajan kehityspäällikkö vai päällirakentajan edustaja. [13.]

Tällä hetkellä saatavilla olevan tiedon mukaan suunnitelmassa on saada VECTO osaksi tyyppihyväksyntää vuonna 2018 [14, s. 8]. Toteutus ja kuorma-autotyytit, joihin VECTOa ryhdytään soveltamaan tyyppihyväksynnässä, eivät ole vielä selvillä. Todennäköisesti VECTO:n pakollisuus tyyppihyväksynnässä astuu ensin voimaan ajoneuvoille, joiden akselimäärä on kaksi tai kolme. Samaa menetelmää on käytetty ennenkin kuorma-auto puolella. Viimeisimpien joukossa esimerkiksi kaistavahtien pakollisuus kuorma-autoissa, joiden akselimäärä on enintään kolme.

VECTO:n hankintaa lähdettiin selvittämään yhdessä Oy Sisu Auto Ab:n tyyppityksistä ja hyväksynnistä vastaavan kanssa. Selvitystyö aloitettiin liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta. Nopeasti Trafilta neuvottiin kääntymään VTT:n puoleen.

Vuonna 2014 VTT oli tehnyt selvityksen sillä hetkellä tuoreimman VECTO 2.0.4:n beta-version käytöstä. Selvityksen mukaan kyseinen versio ja sitä seuraava 3.0.2-versio ovat vielä kehitysversioita, jotka eivät sisällä suurta määrää esitallennettuja lähtöarvoja tai parametreja. Ohjelma oli selvityksen mukaan käyttöliittymältään mahdollinen käytettäväksi minkä tyyppisille ajoneuvoyhdistelmille tahansa, mutta simulointien tekeminen vaati teknisiä esitietoja syötettäväksi ohjelmaan simuloitavasta ajoneuvosta. [15; 16; 17.]

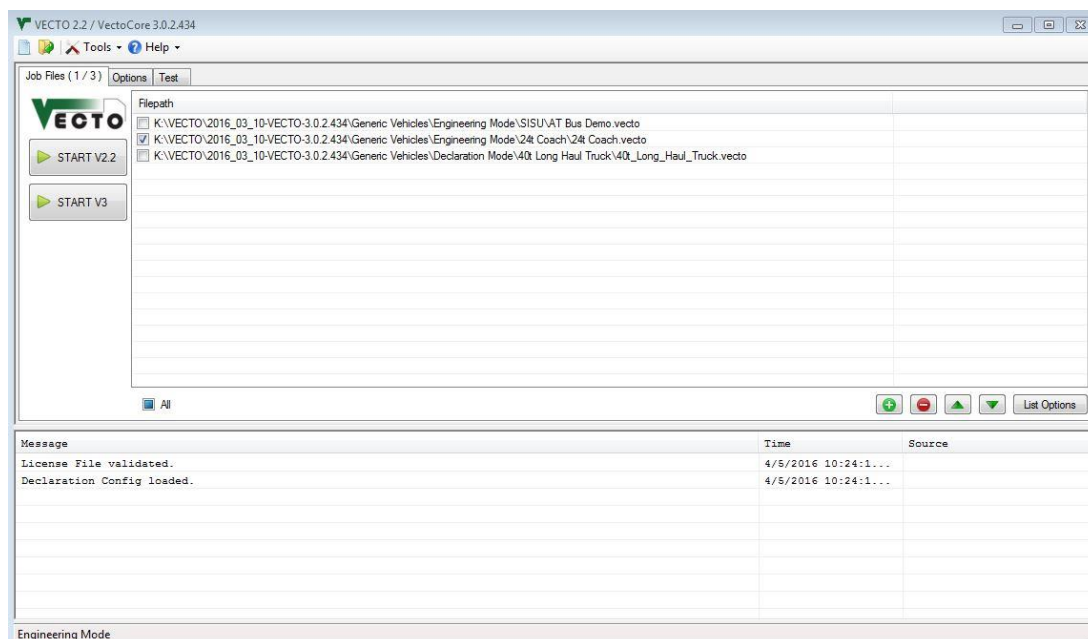
Kävimme yhdessä insinööriyön tilaajan edustajien kanssa VTT:llä vierailulla tutustumassa VECTO-ohjelmaan. VTT:ltä selvisi VTT:n saaneen VECTO:n koekäyttöön JRC:ltä. VTT:ltä ohjattiin kääntymään sen JRC:n kontaktihenkilön Georgios Fontaraksen puoleen, jonka kautta lopulta VECTO saatiin Oy Sisu Auto Ab:n käyttöön. [15; 16; 17.]

4.2.1 VECTO:n käyttöliittymä pähkinänkuoressa

VECTO sisältää tällä hetkellä kaksi eri käyttötilaa, Engineering Mode ja Declaration Mode. Declaration Modessa käyttäjälle valikoituvat lähes kaikki simuloinnissa tarvittavat komponentit valmiiksi valitun ajoneuvotyyppin perusteella. Valittavissa ei tällä hetkellä ole, kuin kaksi- ja kolmeakseliset ajoneuvotyyppit. Tämä käyttötila tulee todennäköisesti olemaan tyyppihyväksyntäviranomaisten käyttämä työkalu tulevaisuudessa.

Engineering Mode puolestaan mahdollistaa simuloinnin minkälaisella ajoneuvolla tahansa. Engineering Modessa käytetty ajoneuvo, moottori, vaihteisto ja simulointisykli ovat määriteltävissä halutun kaltaiseksi. Engineering Mode ei sisällä minkäänlaisia esitallennettuja lähtöarvoja tai parametreja. Käyttäjän tulee itse määrittää ohjelman tarvitsemat lähtöarvot ja parametrit saadakseen simuloinnin onnistumaan. Oy Sisu Auto Ab:n käyttöä ajatellessa on ainoa mahdollinen vaihtoehto toistaiseksi Engineering Mode ja sen käytön räätälöiminen. Tästä johtuen tässä insinööriyössä tästä eteenpäin esitellyt VECTO-ohjelmaan liittyvät asiat käsittelevät vain Engineering Moden ominaisuuksia.

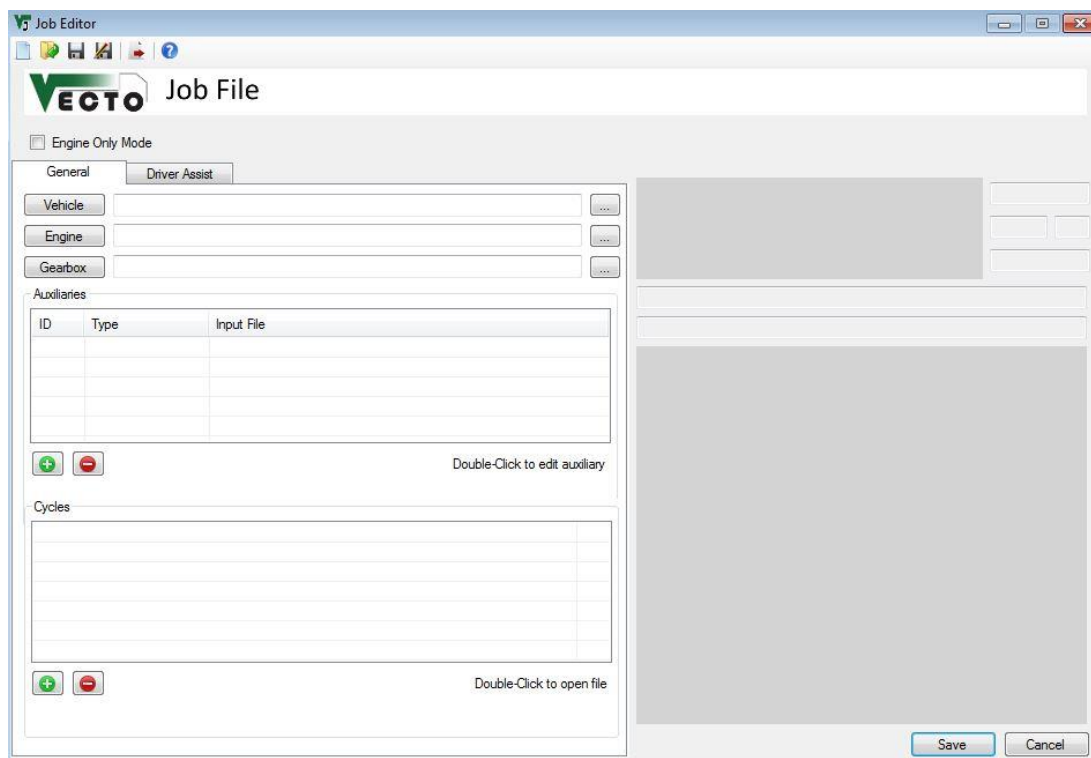
VECTO:n käyttäjälle ensimmäiseksi aukeavasta ikkunasta on ruudunkaappaus kuvassa 9. VECTO:n aloitusnäkyä pitää sisällään listan simulointitöistä, joita käyttäjä on määritellyt. Työlistasta käyttäjä valitsee kohteet, jotka hän haluaa simuloida. Valitut työt simuloidaan ikkunan vasemman reunan painikkeista valiten joko VECTO:n toisella tai kolmannella kehitysversiolla. Työlistan alla sijaitsee viestilista. Viestilistalla VECTO näyttää simuloinnin aikana simulointitilatuksen, varoitukset ja ongelmat.



Kuva 9. VECTO:n aloitusnäkö sisältää listauksen simulointitöistä ja viesteistä.

Simulointitöitä luotaessa aloitetaan Job editorista, joka löytyy kuvassa 9 nähtävän aloitusnäköyn yläreunassa olevan TOOLS-nappulan alta. Job editorin lisäksi TOOLS-painikkeen alta löytyvät työkalut Vehicle editor, Engine editor ja Gearbox editor.

Job editorissa luodaan simulointityö määrittelemällä käytetty ajoneuvo, moottori, vaihteisto ja simulointisykli. Kuvassa 10 nähdään ruudunkaappaus käyttäjälle avautuvasta Job editorin näkömästä. Job editorin Vehicle-, Engine- ja Gearbox-painikkeet avaavat Vehicle editorin, Engine editorin tai Gearbox editorin.



Kuva 10. Job editorin näkymä käyttäjälle.

Simuloinnin tuloksena tulostuu kolme VECTO:n omassa tiedostomuodossa olevaa tiedostoa. Yksi tiedostoista sisältää listan simuloinnin tuloksista. Lista sisältää esimerkiksi simuloinnin lähtöarvot, simuloidun ajomatkan, simuloidun ajoajan, käytetyn polttoainemäärän syklin aikana, polttoaineen keskikulutuksen eri yksiköissä, keskinopeuden, CO₂-päästöjen määrä.

Toinen tiedosto sisältää simuloinnista kerätyn datan, mikä on mahdollista avata VECTO:n omassa datan analysointisovelluksessa nimeltä Graph window. Graph window'lla pystytään tarkastelemaan simulointia valitsemalla kuvaajalle halutut kanavat. Kuvassa 11 on ruudunkaappaus VECTO:n Graph window'n näkymästä.



Kuva 11. VECTO:n datan analysointisovellus Graph window'n näkymä käyttäjälle.

4.2.2 Simulointiin tarvittavat parametrit

Tässä luvussa käsitellään omien käyttökokemusten pohjalta valikoituja parametreja, joita simulointiin tarvitaan. Valikoidut parametrit ovat niitä, joita VECTOa ensimmäistä kertaa käyttävän on vaikeinta hankkia tai parametrin nimen perusteella ymmärtää, mitä tarvitaan.

Simulointityötä luodessa aloitetaan määrittelemällä käytettävä ajoneuvo Vehicle editorilla. Vehicle editorin näkymästä otettu ruudunkaappaus on nähtävissä kuvassa 12. Vehicle editorissa tulee ilmoittaa määriteltävän ajoneuvon akselimäärä, niiden paino- ja kauma ja käytettävä rengastus. Vehicle editorin haastavimmin saatavilla olevat syöttötiedot ovat, jokaiselle simuloinnissa käytettävälle renkaalle määriteltävät ISO 28580 -standardin mukaiset RRC- ja Fz-arvot. RRC, Rolling Resistance Coefficient tarkoittaa renkaan vierinvastuskerrointa. Fz-arvolla tarkoitetaan RRC-arvon mittaamiseen käytettyä pyörän pystysuuntaista nimelliskuormaa. Renkaiden RRC- ja Fz-arvot mitataan renkaiden tyyppihyväksyntätesteissä, joiden tulokset eivät ole julkisia. [18; 19.]


DEMO.vveh

VECTO Vehicle

Tractor

Gross Vehicle Mass Rating [t]

HDV Class



Weight / Loading

Curb Weight Vehicle [kg]

Curb Weight Extra Trailer/Body [kg]

Loading [kg]

Max. Loading [kg]

Air Resistance

cd x A [m²]

Axes / Wheels

#	Rel. load	Twin T.	RRC	Fz ISO	Wheels	Inertia
1	0.2	no	0.005	3752	385/65 R22.5	19.2
2	0.2	no	0.005	3752	385/65 R22.5	19.2
3	0.3	yes	0.0073	3335	315/80 R22.5	17.6
4	0.15	yes	0.008	3127	315/70 R22.5	14.9

+ - Double-Click to edit axle

Powered axle tyres/rims Dynamic tire radius [mm]

Retarder Losses

Ratio [t]

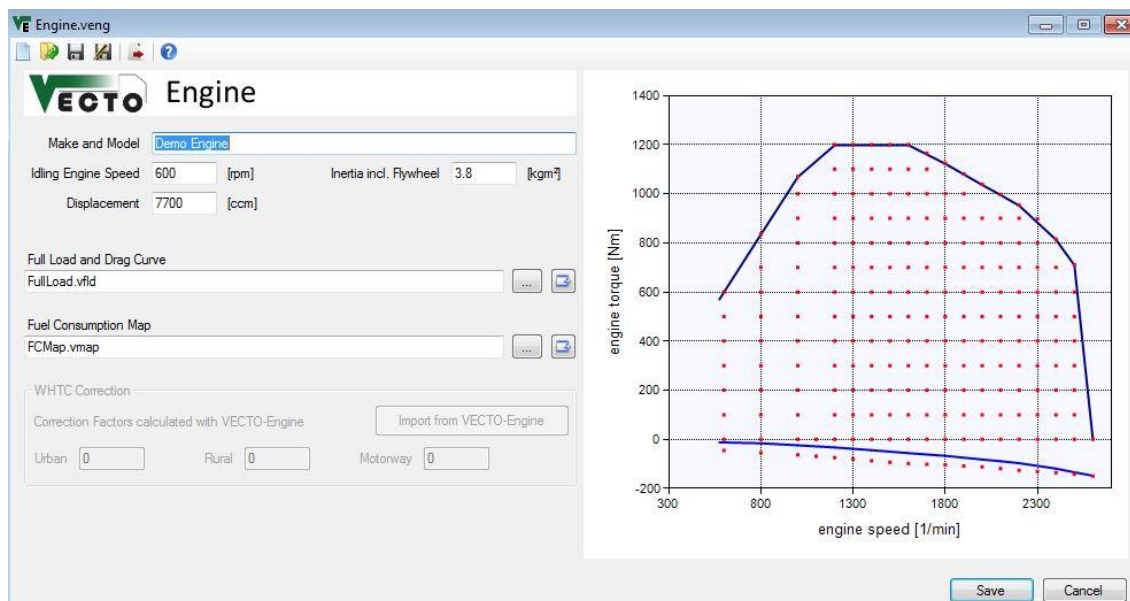
Cross Wind Correction

Save Cancel

Kuva 12. Vehicle editorin näkymä käyttäjälle.

Rengasvalmistajat ilmoittavat julkisesti ainoastaan renkaidensa vierinvastusluokan. Vierinvastusluokkien tarkkuus on noin tuhannesosan suuruinen. Vierinvastusluokka antaa suuntaa-antavan arvon renkaan vierinvastuskertoimelle, mutta siitä ei selviä simuloinnissa tarvittavaa Fz-arvoa. [19.]

Engine editorissa vaikeimmat parametrit, jotka käyttäjän tulee uudesta moottorista määrittellä ovat polttoaineenkulutuskartta, maksimikuormituksen- ja moottorijarrutuksenkartta sekä moottorin rotaation inertia. VECTO:n mukana tulee "input parameters.xlsx" -tiedosto, josta selviää syötettävien parametrien vaatimukset. Saman tiedoston mukana oli yksinkertaistettu laskentamalli, jolla pystytään määrittämään moottorin rotaation inertia moottorin iskutilavuuden perusteella. Engine editorin näkymästä otettu ruudunkaappaus on nähtävissä kuvassa 13.



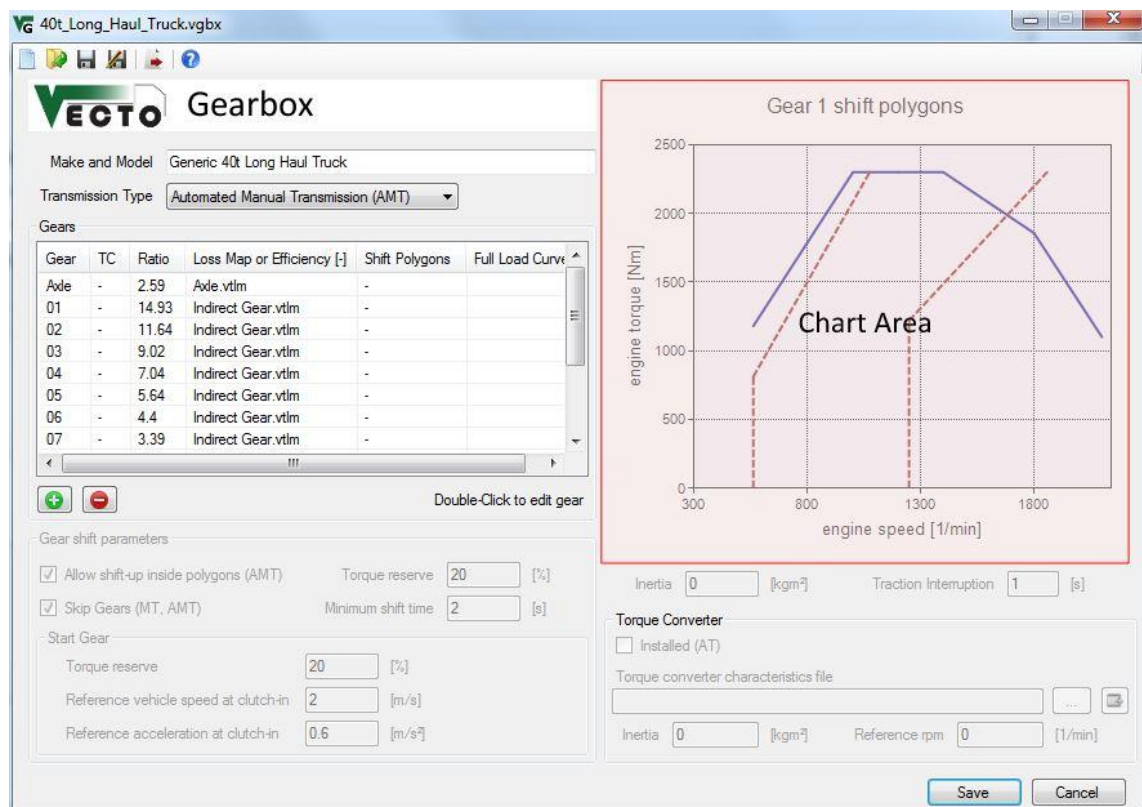
Kuva 13. Engine editorin näkymä ja moottorikartan esikatselu.

Polttoaineenkulutuskartassa tarvitaan vähintään kolmelta eri moottorin käyntinopeudelta kolmen eri moottorin kuormitustason polttoaineenkulutuksen arvo yksikössä g/h. Simuloinnissa VECTO interpoloi Delaunayn kolmionnin avulla polttoaineenkulutuskartasta, jolla on aikojen hetkellä haluamansa moottorin käyntinopeutta ja kuormitustasoa vastaavan polttoaineenkulutuksen arvon, mikäli polttoaineenkulutuskartassa ei kyseistä pistettä vastaavaa arvoa ole määritetty [20].

Maksimikuormituksen- ja moottorijarrutuksenkarttaa tarvitaan, jotta on yksinkertaisempaa määrittellä saman moottoriperheen eri tehoversioita. Saman moottoriperheen moottoreille voidaan käyttää samaa polttoaineenkulutuskarttaa, jota vain rajataan maksikuormituksen mukaan. Maksimikuormituksen- ja moottorijarrutuksenkarttaan tulee syöttää moottorin eri käyntinopeuksilla saavutettavat maksimivääntömomentti, moottorijarrutuk-

sen vääntömomentti sekä PT1-arvo. PT1 on vakio, joka VECTOssa kuvastaa eri kierrosnopeuksilla moottorin vääntömomentin kasvukykyä. VECTO:n mukana tulleesta "input parameters.xlsx"-tiedostosta löytyy kymmenelle eri moottorinkäyntinopeudelle vastaava PT1-arvo. Muiden moottorin käyntinopeuksien PT1-arvot tulee interpoloida välin päätepisteiden avulla.

Gearbox editorissa käyttäjä syöttää vaihteiston jokaisen vaihteen välityssuhteen arvon sekä käytettävän perävälityksen arvon. Perävälitykselle sekä jokaiselle vaihteelle tulee määrittää häviökartat. Häviöt määritellään vääntömomenttina käyntinopeuden suhteen. Häviökarttojen lisäksi tarvitaan myös kartat vaihtogeometrioista. Vaihtogeometriakartassa määritetään moottorin eri käyntinopeuksilla rajat ylös- ja alaspäin vaihdoille moottorin kuormituksen suhteen. Kuvassa 14 on Gearbox editorista otettu ruudunkaappaus käyttäjän näkymästä, jossa on mahdollisuus vaihdekohtaiseen vaihtogeometrioiden ja maksimikuormituskuvaajien tarkasteluun.



Kuva 14. Gearbox editorin näkymä käyttäjälle.

Gearbox editorissa on mahdollista määrittää jokaiselle vaihteelle oma maksimikuormituksenkartta. Mikäli maksimikuormituskarttaa ei vaihteille määritellä, käyttää simulointi

moottorin maksimikuormituskarttaa. Tätä ominaisuutta tarvitaan esimerkiksi halutessa rajoittaa moottorilta tulevaa maksimimomenttia pienillä vaihteilla.

Gearbox editorissa on edellä mainittujen parametrien lisäksi kymmenkunta täytettävää kenttää. Näistä tärkeimpinä mainittakoon vaihteiden vaihtoon liittyviä parametreja vaihto-
toaika ja vääntömomenttireservi vaihtotapahtuman jälkeen. Vääntömomenttireservillä määritellään prosentuaalisesti, kuinka paljon ylöspäin vaihdon jälkeen on jätävä reserviin vääntömomenttia vaihtogeometriakartan alaspäin vaihdon rajaam nähden.

Gearbox editorissa on myös omat kentät momentinmuuntimen parametrien syöttämiselle, mikäli käytettävä vaihteisto on automaatti. Lisäksi käytettävän vaihteiston inertia tulee syöttää vaihteiston tyypistä riippumatta.

4.2.3 Simulointi kuvitteelliselle 76 tonnin ajoneuvoyhdistelmälle

Esimerkki simulointi suoritettiin Suomessa suurimman sallitun kokonaismassan omaavalle 76 tonnin yhdistelmälle. Simulointisykliksi valittiin VECTOn mukana tullut ”Long-haul”-sykli, joka on pääasiallisesti moottoritie ajoa muutamalla pysähdyksellä ja vaihtelevilla nousuilla. Simuloitavan ajosyklin pituus on noin 108 kilometriä.

Simulointia varten tarvittavia parametreja määriteltäessä käytettiin vertailukohtana olemassa olevia 76 tonnin yhdistelmän vetoautona toimivia Sisu-kuorma-autoja sekä insinööriyöntekijän henkilökohtaista kenttäkokemusta kuljetusalalta.

Simulointiin valitun ajoneuvoyhdistelmän komponentit ovat seuraavat:

- Vetoauto: 4-akselinen, telivetävä
- Renkaat vetoauto:
 - Ohjaavat akselit 385/65 R22.5
 - Vetävät akselit 315/80 R22.5
 - Paripyörä asennus
- Moottori: Mercedes Benz OM473 460 kW / 3000 Nm
- Vaihteisto: Mercedes Benz Powershift 3 G280-16

- Perävälitys 4.65
- Perävaunu: 5-akselinen
- Renkaat perävaunu:
 - 315/70 R22.5
 - Paripyörä asennus.

Simulointiin valittujen komponenttien perusteella VECTO-ohjelmaan ryhdyttiin syöttämään parametreja. Vehicle editorin vaatimien vaikeammin saatavilla olevien RRC:n ja Fz:n arvot löydettiin raportista, jossa tutkittiin rengasvalmistajien ilmoittamien vierinvas-tuskertoimien ja heidän testilaboratorioiden tulosten paikkaansa pitävyyttä. Tutkimus on tehty uutta renkaiden merkitsemistä polttoainetaloudellisuuden ja muiden keskeisten ominaisuuksien osalta koskevaa Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (EY) N:o 1222/2009 varten. [19; 21, s. 7.]

Engine editoriin tarvittava maksimikuormituksen- ja moottorijarrutuksenkartta valmistettiin Daimler AG:n toimittamien moottoreiden tyyppihyväksyntäpapereista löytyneiden mittaustulosten pohjalta.

Vaikeimmaksi osuudeksi tämän simuloinnin ja VECTO-ohjelman käyttöönoton kannalta osoittautui polttoaineenkulutuskartta. Oy Sisu Auto Ab:n valmistamien siviilikuorma-au-tojen moottoreidentoimittaja Daimler AG:lta saatiin polttoaineen ominaiskulutuskäyrästä, joka tunnetaan myös nimellä simpukkakuvaaja. Simpukkakuvaaja on ulkoasultaan hy-vinkin viitteellinen, joten sen paikkansapitävyys tulee ottaa huomioon simulointitulosten virhearviointia tehdessä.

Polttoaineenkulutuskarttaan käyntinopeuden arvoiksi valittiin arvot tyhjäkäynnin kierros-luvusta alkaen sadan kierroksen minuutissa välein moottorin suurimpaan kierroslukuun asti. Näiltä kierroslukualueilta polttoaineenkulutuskarttaan syötettiin moottorin kuormi-tusarvoja ja niitä vastaavat hetkelliset kulutukset. Pisteet valikoituivat kierroslukualueit-tain eri kuormitusarvojen kohdalle. Kuormitusarvot valikoituivat simpukkakuvaajan pe-rusteella. Valitut kohdat olivat ne, joissa simpukkakuvaajan simpukoiden rajat kulkevat.

Simpukkakuvaajan toimituksen yhteydessä Daimler AG ilmoitti vain optimaalisimman alueen ominaiskulutuksen. Simpukkakuvaajan simpukoiden reunoilla on ilmoitettu pro-

sentuaalinen määrä, kuinka paljon ominaiskulutus kasvaa siirryttäessä seuraavalle alueelle. Valittujen pisteiden ominaiskulutusarvot saatiin kertomalla optimaalisen alueen ominaiskulutus määriteltävän polttoaineenkulutuskartan pisteen kasvuprosentilla.

Simpukkakuvaajasta saadut ominaiskulutusarvot olivat yksiköissä g/kWh. VECTOn polttoaineenkulutuskarttaan vaaditaan ominaiskulutusarvojen yksiköiksi g/h. Ominaiskulutusarvot tuli muuntaa luvussa 2.6 sivulla 6 olevaa kaavaa 9 käyttäen oikeaan yksikköön, ennen niiden syöttämistä polttoaineenkulutuskarttaan.

Gearbox editor vaati suurimmaksi osaksi vain helposti saatavilla olevien tietojen syöttämistä. Vaihteiston vaihtogeometriasta ei karttaa ollut saatavilla, joten se tuli itse tehdä. Vaihtogeometrioihin valittiin ylös- ja alaspäin vaihtojen käyntinopeudet tutkimalla simpukkakuvaajasta taloudellisia moottorin kuormitustiloja sekä soveltamalla insinöörityöntekijän omakohtaisia käyttökokemuksia eri robottivaihteistojen vaihtogeometrioista.

Edellä lueteltujen tietojen perusteella VECTOlla tehtiin simulointi kehitysversiolla 2.2 johdettujen kolmannen kehitysversion ratkaisemattomasta ongelmasta koodissa, joka estää simuloinnin läpi viemisen. Tuloksena käytetyllä simulointisyklillä saatiin polttoaineenkulutukselle arvoksi 59,95 l / 100 km. Kuvan 15 tapaan simuloinnista kerätty data analysoitiin tavoitenopeuden, todellisen nopeuden, nousuprosentin ja käytetyn vaihteen perusteella.



Kuva 15. Esimerkki simuloinnin aikana kerätyn datan analysointi VECTO:n Graph window'ssa välillä 4–12 kilometriä.

Simuloinnista kerättyä dataa analysoidessa huomattiin simuloinnin onnistuneen erittäin todenmukaisesti. Muutamia ongelmakohtia havaittiin kiihdytyksissä. Turhia vaihteen vaihtoja tapahtui kiihdytyksissä, varsinkin kun maastonmuoto oli laskeva.

Simuloinnin tulos polttoaineenkulutuksesta vastaa Sisu-kuorma-autoilijoilta saatua arvoa. Yleisimminkin on tiedossa, että 76-tonnisen yhdistelmän polttoaineenkulutus on välillä 50–70 l / 100 km riippuen ajoneuvosta, olosuhteista ja ajosyklistä. Tämä antaa viitteitä VECTO:n toimivuudesta ja vastaavuudesta todellisuuteen. Rohkaisevasta tuloksesta huolimatta vaaditaan simuloinnin lähtötietojen tarkentamista ja tienpäällä tehtäviä testejä, jotta voidaan varmistua VECTO:n simulointitarkkuudesta.

VECTO sisältää tässä insinööriyössä esiteltyjen syötettävien parametrien lisäksi vielä suuren määrän parametreja, joita on mahdollista syöttää saadakseen tarkempia tuloksia simuloinneista. Näistä merkittävimpinä mainitaan sivutuulikerroin ja kuluttimien hukatehokartat. Kuluttimilla tarkoitetaan tehoa kuluttavia lisälaitteita, kuten paineilmakompressori ja ohjaustehostin.

Hukatehokarttojen avulla VECTOlla on rajattomat soveltamismahdollisuudet. Hukatehokarttojen avulla voidaan esimerkiksi laskea tarkasti, kuinka paljon kiinteätilavuuksinen hydraulipumppu tuottaa hukatehoa ajosyklin aikana vapaakiertoventtiilin ollessa kytkettynä. VECTO laskee simulointisyklin aikana kulutetut hukatehot yhteen ja erittelee ne toimilaitteittain. Toimilaitteittain eriteltyjen hukatehojen määrän lisäksi VECTO ilmoittaa toimilaitteiden kuluttaman polttoainemäärän.

4.2.4 VECTO aloituspaketin valmistus

Insinööriyön tilaajayritys Oy Sisu Auto Ab:lle valmistettiin aloituspaketti, jotta VECTO-simulointiohjelman käytön aloittaminen yrityksessä olisi helpompaa. Aloituspaketin avulla pystytään aloittamaan simuloinnit ilman aikaa vievää prosessia syöttöparametrien etsimiseksi ja valmistamiseksi.

Aloituspakettiin valmistettiin luvun 4.2.3 ”Simulointi kuvitteelliselle 76 tonnin ajoneuvoyhdistelmälle” tapaan VECTO-tiedostot kaikista Sisu-siviilikuorma-autoissa käytettävistä moottori- ja vaihteistovaihtoehdoista. Lisäksi pakettiin kerättiin lista yleisimpien renkaiden RRC- ja Fz -arvoista.

5 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tehtiin laskentatyökalu Oy Sisu Auto Ab:n myyjiä ja suunnittelijoita varten voimalinjaratkaisuiden suorituskyvyn arviointiin. Insinööriyön edetessä laskentatyökalun rinnalle hankittiin VECTO-simulointiohjelma kokonaisten ajoneuvojen CO₂-päästöjen ja polttoaineenkulutusten arviointiin. VECTO-simulointiohjelmaa koekäytettiin Oy Sisu Auto Ab:n käyttötarpeiden perusteella. Koekäyttökokemusten perusteella valmistettiin aloituspaketti VECTO:n käyttöä varten.

Tämän insinööriyön tuloksena syntyi toimiva Excel-pohjainen laskentatyökalu, jolla pystytään havainnoimaan komponenttivalintojen vaikutusta ajoneuvon suorituskykyyn ajotilapiirrosten muodossa. Insinööriyön tuloksena VECTO-osuudesta syntyi insinööriyön tilaajayritykselle aloituspaketti VECTO:n käytön aloittamista varten. VECTO:n avulla pystytään kuorma-auton voimalinjan komponenttivalintojen vaikutusta suorituskykyyn arvioimaan polttoaineenkulutuksen perusteella.

Tämän insinööriyön tulosten voidaan sanoa täyttävän työlle asetetut tavoitteet työkalusta, jolla pystytään välillisesti edistämään Sisu-kuorma-autojen myyntiä. Työn tuloksena saatujen työkalujen avulla pystytään myös optimoimaan kuorma-auton voimalinjaa. Tuottamiensa ajotilapiirrosten ja polttoaineenkulutustietojen perusteella työkalut mahdollistavat voimalinjan komponenttivalintojen vertailun.

Laskentatyökalua tullaan insinööriyön jälkeen kehittämään ja laajentamaan. Suunnitelmana on sisällyttää laskentatyökaluun välilehdet kääntyvyyden, painopisteen ja kiihtyvyyden laskentaa varten. Laskentatyökalun ja VECTO:n rajapinnan yhdistäminen on myös suunnitteilla. Laskentatyökalussa määritellyn ajoneuvon tietojen perusteella luotaisiin suoraan VECTO:n tarvitsemat tiedostot simulointia varten. VECTO:n ja laskentatyökalun yhdistämistä ei kannata aloittaa ennen VECTO:n lopullisen version julkaisua. Vasta lopullista versiota käytettäessä pystytään varmistumaan sen käyttämisen eduista ja haitoista, joita laskentatyökalulla voitaisiin avustaa.

VECTO:n suhteen seuraava askel tämän insinööriyön jälkeen on määritellä Oy Sisu Auto Ab:n resurssit VECTO:n kehittämistä varten. Simulointitulosten tarkkuus ja paikkansapitävyys ovat suuntia jota kohti VECTOa tulisi insinööriyön tilaajan käytössä kehittää. Kehitys vaatisi simuloinnin vertailukohdaksi oikealla ajoneuvolla tehtäviä mittauksia tien-

päällä ja tarvittaessa laboratorio-olosuhteissa. Tienpäällä tehtävät mittaukset olisivat ensimmäinen ja välttämätön kehitysaskel. Mittauksia tulisi tehdä eri ajosykleillä, samalla mallintaan käytettyjen ajoreittien profiilit VECTO:n ajosykleiksi. Simulointitarkkuutta parannettaessa tulee pyrkiä saamaan lisää tietoa Oy Sisu Auto Ab:n kumppanilta Daimler AG:lta liittyen moottoreihin ja vaihteistoihin. Insinööriyötä tehdessä ei kaikkiin syötettäviin parametreihin ollut saatavilla tietoa arvojen paikkansapitävyydestä tai niitä jouduttiin itse kehittämään.

Insinööriyön päätteeksi pidettiin työllä saavutetuista aikaansaannoksista esitelmän ja koulutuksen kriteerit käsittävä tilaisuus, johon osallistui Sisu Engineering Oy:n henkilöstö sekä osa Sisu Auto Trucks Oy:n henkilöstöstä. Tilaisuudessa tutustutettiin osallistujat uuden laskentatyökalun käyttöön sekä esiteltiin VECTO ja sen käyttö- ja soveltamismahdollisuudet.

Lähteet

- 1 Braess, Hans-Hermann & Seiffert, Ulrich. 2005. Handbook of Automotive Engineering. Pittsburgh: SAE.
- 2 L2000 M2000 F2000 construction period 1992-2005 (according to model). 2007. München: MAN Nutzfahrzeuge AG ESC Department.
- 3 Stone, Richard & Ball, Jeffrey K. 2004. Automotive Engineering Fundamentals. Pittsburgh: SAE.
- 4 Koskinen, Olavi H. 2014. Puutavara-ajoneuvoyhdistelmän aerodynamiikka ja polttoaineenkulutus. Verkkodokumentti. <<http://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a100=4895>>. 25.7.2015. Luettu 26.2.2016.
- 5 Nyholm, Juha. 2006. Raskaan kaluston aerodynamiikan kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- 6 O'Grady, SORCHA. 2015. Truck Test 2015: Is choice of driver still more important than choice of truck?. Verkkodokumentti. <<http://truckscience.com/truck-test-2015-is-choice-of-driver-still-more-important-than-choice-of-truck/>>. 30.9.2015. Luettu 25.2.2016.
- 7 Yritysesittely. 2015. Verkkodokumentti. Vemosim Oy <www.vemosim.com>. Luettu 10.4.2016.
- 8 Bekiaris, Evangelos & Nakanishi, Yuko J. 2004. Economic Impacts of Intelligent Transportation Systems: Innovations and Case Studies. Amsterdam: Elsevier JAI.
- 9 Sauna-aho, Jussi & Koskinen, Olavi. 2002. Suomen osallistuminen COST 346-projektiin "Raskaiden ajoneuvojen päästöt ja polttoaineenkulutus". Verkkodokumentti. <http://virtual.vtt.fi/virtual/mobile/vuosikirja2001/15_t0024.pdf>. 25.4.2002. Luettu 26.2.2016.
- 10 Savvidis, Dimitrios. 2014. Presentation of Vehicle Energy Consumption Calculation Tool. Stakeholder meeting Brussel 16.9.2014.
- 11 Emissions and fuel consumption from heavy duty vehicles COST 346 – Final Report. 2005. Graz: Graz University of Technology, Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics.
- 12 Fontaras, Georgios. 2014. Development of a CO₂ certification and monitoring methodology for Heavy Duty Vehicles – Proof of Concept report. Luxemburg: Publications office of the European Union.

- 13 Kreiner, Christian & Quaritsch, Markus. 2015. Deployment, Structure of Input Data, Certification Process. IT Expert Group Kick-Off Meeting in TU Graz.
- 14 Note on the Certification of the CO₂ emissions from heavy-duty vehicles. 2015. Bryssel: DG GROW/C4.
- 15 Rahkola, Pekka. 2016. Senior Scientist, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo. Keskustelu 2.3.2016.
- 16 Laurikko, Juhani. 2016. Principal Scientist, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo. Keskustelu 2.3.2016.
- 17 Laine, Petri. 2016. Research Scientist, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo. Keskustelu 2.3.2016.
- 18 Sandberg, Ulf. 2011. MIRIAM final report: Rolling Resistance – Basic Information and State-of the-Art on Measurement methods. Linköping: VTI.
- 19 Asetus (EY) N:o 1222/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus renkaiden merkitsemisestä polttoainetaloudellisuuden ja muiden keskeisten ominaisuuksien osalta. <<http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/1222/oj>>.
- 20 VECTO User Manual. 2016. Graz: Graz University of Technology.
- 21 Network of Laboratories Commission Expert Group. 2011. Laboratory alignment for the measurement of tyre rolling resistance installed under Regulation (EC) No 1222/2009 and listed on the Commission registry of Expert Groups to the European Commission. Verkkodokumentti. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2011_report_tyre_rolling_resistance.pdf>. 25.11.2011. Luettu 15.3.2016.